

**TUGAS AKHIR**

**KARAKTERISTIK BETON RINGAN DENGAN BAHAN  
PENGISI STYROFOAM**



**DISUSUN OLEH :**

**A.AGUNG FADHILAH PUTRA**

**D111 11 295**

**JURUSAN SIPIL**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2015**

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur dipersembahkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan berkah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *“Karakteristik Beton Ringan dengan Bahan Pengisi Styrofoam”* yang merupakan salah satu syarat diajukan untuk menyelesaikan studi S1 pada Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa banyak kendala yang dihadapi dalam penyusunan tugas akhir ini, namun berkat bantuan dari berbagai pihak, maka tugas akhir ini dapat terselesaikan. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak **Dr. Ing. Ir. Wahyu Piarah, MS, ME.** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Bapak **Dr. Ir. M. Arsyad Thaha, MT.** selaku Ketua Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak **Dr. Eng Rudy Djamaluddin, ST, M.Eng.** selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penelitian ini.
4. Ibu **Dr. Eng. Rita Irmawaty, ST, MT.** selaku dosen pembimbing II yang telah banyak meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan kepada penulis.

5. Seluruh dosen, staf, dan karyawan Jurusan Sipil, staf dan karyawan Fakultas Teknik, serta staf dan asisten Laboratorium Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Ayah **Ir. Fachruddin**, ibu **Dra. A. Deliana**, adik **Kaisar**, nenek **Hj Maraddiah** serta seluruh keluarga yang telah membimbing, mendoakan serta memberikan dukungan dan bantuan baik moril maupun materil yang diperlukan sehingga penulisan ini dapat terselesaikan.
7. Rekan-rekan Asisten Laboratorium Ilmu Ukur Tanah Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, teman-teman Trinity, Ikatan Mahasiswa Pelajar Soppeng (IMPS) atas doa dan dukungannya.
8. Kanda-kanda senior, adik-adik dan teman-teman seperjuangan Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin angkatan **2011** yang telah membimbing, membantu dan memberikan warna tersendiri.

Penulis menyadari bahwa setiap karya buatan manusia tidak pernah luput dari kesalahan dan kekurangan, oleh karena itu penulis mengharapkan kepada pembaca kiranya dapat memberi sumbangan pemikiran demi kesempurnaan dan pembaharuan tugas akhir ini.

Akhirnya semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan karunia-Nya kepada kita dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam bidang keteknik sipil.

Makassar, Agustus 2015

Penulis

# KARAKTERISTIK BETON RINGAN DENGAN BAHAN PENGISI *STYROFOAM*

R. Djamaluddin<sup>1</sup>, R. Irmawaty<sup>1</sup>, A. Agung F<sup>2</sup>

## ABSTRAK

*Pembangunan dalam bidang konstruksi di era modern menunjukkan perkembangan yang sangat pesat, sehingga menuntut teknologi beton yang semakin inovatif. Penambahan styrofoam dalam campuran beton akan membentuk rongga sehingga mengurangi berat beton secara keseluruhan dan terbentuk beton ringan dengan berat volume  $\leq 1900 \text{ kg/m}^3$ . Berkaitan dengan hal tersebut, diadakan penelitian yang menggunakan styrofoam sebagai bahan pengisi pada campuran beton sebesar 10%, 30%, dan 50% terhadap volume beton. Jumlah benda uji masing-masing 3 buah setiap variasi. Pengujian sifat mekanik beton dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari untuk uji kuat tekan beton, dan 28 hari untuk kuat tarik belah beton, kuat lentur beton serta modulus elastisitas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan 30% styrofoam dalam beton termasuk dalam kategori beton ringan dengan berat volume sebesar  $1881.25 \text{ kg/m}^3$ . Kuat tekan beton meningkat seiring dengan bertambahnya umur, namun mengalami penurunan dengan penambahan volume styrofoam. Demikian pula halnya dengan kuat tarik belah, kuat lentur dan modulus elastisitas. Sehingga penambahan styrofoam tergantung pada karakteristik beton yang diinginkan.*

**Kata Kunci :** Beton Ringan, *Styrofoam*, Kuat Tekan

---

<sup>1</sup> Dosen Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

<sup>2</sup> Mahasiswa Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

# THE CHARACTERISTICS OF LIGHTWEIGHT CONCRETE WITH FILLER MATERIALS OF STYROFOAM

R. Djamaluddin<sup>1</sup>, R. Irmawaty<sup>1</sup>, A. Agung F<sup>2</sup>

## ABSTRACT

*The development in the field of construction in modern era shows rapid growth, so it demands the more and more innovative concrete technology. Adding styrofoam in the concrete mixture will form void so it reduces the overall weight of concrete, hence the lightweight concrete is formed with weight volume  $\leq 1900 \text{ kg/m}^3$ . Related to this, a research was conducted using styrofoam as filler materials in concrete mixture that is 10%, 30%, 50%. The numbers of each specimen were 3 pieces of each variation. Mechanical characteristic testing of concrete was conducted at the age of 7, 14, and 28 days for concrete compressive strength test, and 28 days testing for split tensile strength of concrete, concrete flexural strength and modulus elasticity test. The results showed that the addition of 30% of styrofoam in concrete can be categorized as lightweight concrete with a weight volume in the amount of  $1881.25 \text{ kg/m}^3$ . Concrete compressive strength test increase by the time, but decreased with addition of volume styrofoam. Similiarly for split tensile strength of concrete, concrete flexural strength and modulus elasticity test. It proof that addition of styrofoam depend on characteristic of concrete desired.*

**Kata Kunci :** *Lightweight Concrete, Styrofoam, Compressive Strength*

## DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
ABSTRAK B.INDONESIA.....	iv
ABSTRAK B.INGGRIS .....	v
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang .....	I-1
1.2. Rumusan Masalah .....	I-2
1.3. Tujuan Penelitian.....	I-3
1.4. Manfaat Penelitian.....	I-3
1.5. Ruang Lingkup/Batasan Masalah.....	I-3
1.6. Sistematika Penulisan .....	I-4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Pengertian dan Sifat Beton .....	II-1
2.2. Beton Ringan.....	II-5
2.3. Material Penyusun Beton Ringan <i>Styrofoam</i> .....	II-7
2.3.1 Semen Portland Komposit.....	II-8
2.3.2 Agregat.....	II-10

2.3.3 Air .....	II-13
2.3.4 Styrofoam .....	II-14
2.4. Kekuatan Beton.....	II-16
2.4.1 Kuat Tekan .....	II-16
2.4.2 Kuat Tarik Belah.....	II-18
2.4.3 Kuat Lentur.....	II-19
2.4.4 Modulus Elastisitas .....	II-20

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian.....	III-1
3.2. Waktu dan Tempat Penelitian .....	III-2
3.3. Desain dan Jumlah Benda Uji .....	III-2
3.4. Persiapan Bahan dan Alat Penelitian.....	III-3
3.5. Metode Pengecoran .....	III-4
3.6. Metode Perawatan Benda Uji .....	III-5
3.7. Pengujian Benda Uji.....	III-5

### BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian Karakteristik Agregat .....	IV-1
4.1.1 Agregat Halus .....	IV-1
4.1.2 Agregat Kasar .....	IV-2
4.1.3 Gradasi Gabungan Agregat .....	IV-3
4.1.4 <i>Mix Design</i> .....	IV-3
4.2. Hasil Pengujian Beton .....	IV-4
4.2.1 <i>Slump Test</i> .....	IV-4

4.2.2 Berat Satuan Beton .....	IV-5
4.2.3 Kuat Tekan Beton .....	IV-6
4.2.4 Kuat Tarik Belah Beton .....	IV-8
4.2.5 Kuat Lentur Beton .....	IV-10
4.2.6 Modulus Elastisitas Beton.....	IV-10
4.3. Komentar Peneliti terhadap Hasil Penelitian .....	IV-17

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan .....	V-1
5.2. Saran .....	V-2

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN



## DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2.1    Semen PCC
- Gambar 2.2    Pasir Sungai
- Gambar 2.3    Batu Pecah (*Chipping*)
- Gambar 2.4    *Styrofoam*
- Gambar 2.5    Grafik Hubungan Tegangan Regangan Beton
- Gambar 3.1    Bagar Alir Metodologi Penelitian
- Gambar 4.1    Grafik Gradasi Penggabungan Agregat
- Gambar 4.2    Grafik Hubungan antara Berat Satuan Beton dengan Persentase  
Penambahan *Styrofoam*
- Gambar 4.3    Grafik Hubungan antara Kuat Tekan Beton dengan Umur  
Pengujian Berdasarkan Variasi *Styorofam*
- Gambar 4.4    Pengujian Kuat Tekan Beton
- Gambar 4.5    Grafik Hubungan antara Persentase *Styrofoam* dan Kuat Tarik  
Belah
- Gambar 4.6    Pengujian Kuat Tarik Belah Beton
- Gambar 4.7    Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan Kuat Tarik Belah Beton
- Gambar 4.8    Grafik Hubungan antara Persentase *Styrofoam* dan Kuat Lentur
- Gambar 4.9    Pengujian Kuat Lentur Beton
- Gambar 4.10   Grafik Hubungan Tegangan Regangan Beton Normal

Gambar 4.11 Grafik Hubungan Tegangan Regangan Beton *Styrofoam* 10%

Gambar 4.12 Grafik Hubungan Tegangan Regangan Beton *Styrofoam* 30%

Gambar 4.13 Grafik Hubungan Tegangan Regangan Beton *Styrofoam* 50%

Gambar 4.14 Grafik Hubungan antara Persentase Beton *Styrofoam* dan Modulus  
Elastisitas

Gambar 4.15 Pengujian Modulus Elastisitas dengan Alat *Compressometer*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Spesifikasi Semen Portland Komposit
Tabel 3.1	Jumlah Benda Uji
Tabel 4.1	Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat Halus
Tabel 4.2	Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat Kasar
Tabel 4.3	Komposisi Kebutuhan Bahan Campuran Beton 1 m <sup>3</sup>
Tabel 4.4	Hasil Pengukuran Nilai <i>Slump</i>
Tabel 4.5	Hasil Pengujian Berat Satuan Beton Rata-Rata
Tabel 4.6	Hasil Perhitungan Kuat Tekan Beton (MPa)
Tabel 4.7	Hasil Perhitungan Kuat Tarik Belah Beton Rata-Rata (MPa)
Tabel 4.8	Perbandingan Kuat Tarik Belah terhadap Kuat Tekan Beton
Tabel 4.9	Hasil Perhitungan Kuat Lentur Beton Rata-Rata (MPa)
Tabel 4.10	Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas Rata-Rata
Tabel 4.11	Hasil Perhitungan Modulus Eksperimen dan Teoritis

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Pembangunan dalam bidang konstruksi di era modern menunjukkan perkembangan yang sangat pesat, diantaranya dalam pembangunan perumahan, kantor, rumah sakit dan sebagainya. Beton sebagai bahan bangunan sudah lama digunakan dan diterapkan secara luas oleh masyarakat sebab memiliki keunggulan-keunggulan dibanding material struktur lainnya yakni memiliki kekuatan yang baik, tahan api, tahan terhadap perubahan cuaca, serta relatif mudah dalam pengerjaan.

Namun beton memiliki salah satu kelemahan yaitu berat jenisnya cukup tinggi sehingga beban mati pada suatu struktur menjadi besar. Oleh karena itu, inovasi teknologi beton selalu dituntut guna menjawab tantangan akan kebutuhan, diantaranya bersifat ramah lingkungan dan memiliki berat jenis yang rendah (beton ringan). Beton ringan pada umumnya memiliki berat jenis kurang dari  $1900 \text{ kg/m}^3$ .

Dalam proses pembuatan beton ringan tentunya dibutuhkan material campuran yang memiliki berat jenis rendah. Salah satu bahan alternatif yang dapat digunakan adalah *Styrofoam*. *Styrofoam* merupakan salah satu bahan material yang memiliki berat jenis yang rendah.

Selain harganya yang relatif murah, *styrofoam* atau *expanded polystyrene* yang terbuat dari polisterin atau yang lebih dikenal dengan gabus putih kerap

menjadi limbah industri maupun limbah rumah tangga yang menjadi masalah lingkungan karena sifatnya yang tidak dapat membusuk dan susah terurai di alam.

Dengan digunakannya *styrofoam* pada campuran beton, maka secara total berat beton akan lebih ringan serta nilai guna *styrofoam* akan bertambah, namun hal ini akan berpengaruh pada kekuatan beton tersebut seiring dengan penambahan *styrofoam* pada campuran beton.

Berdasarkan hal tersebut diatas, maka dilakukan penelitian yang bersifat eksperimental terhadap **“KARAKTERISTIK BETON RINGAN DENGAN BAHAN PENGISI *STYROFOAM*”** untuk mengevaluasi seberapa besar pengaruh *styrofoam* dalam campuran beton. Adapun karakteristik yang dimaksud adalah perilaku mekanik beton yang mencakup kuat tekan, kuat tarik belah, kuat lentur, serta modulus elastisitas dengan perbandingan *styrofoam* terhadap volume beton yang bervariasi yaitu 10%, 30%, dan 50%.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah yang dikemukakan diatas, maka dirumuskanlah permasalahan penelitian ini sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh penambahan volume *styrofoam* yang bervariasi (10%, 30%, 50%) terhadap kuat tekan, kuat tarik, kuat lentur, serta modulus elastisitas pada beton.
2. Bagaimana perilaku mekanik (kuat tekan, kuat tarik, kuat lentur, dan modulus elastisitas) dari beton normal dan beton dengan *styrofoam*.

### 1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Untuk mengevaluasi pengaruh penambahan volume *styrofoam* yang bervariasi (10%, 30%, 50%) terhadap kuat tekan, kuat tarik, kuat lentur, serta modulus elastisitas pada beton.
2. Untuk membandingkan perilaku mekanik (kuat tekan, kuat tarik, kuat lentur, serta modulus elastisitas) antara beton normal dengan beton ringan *styrofoam*.

### 1.4. Manfaat Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Memberi informasi mengenai perilaku mekanik beton dengan tambahan *styrofoam*.
2. Dapat dijadikan bahan referensi mengenai persentase *styrofoam* yang baik digunakan dalam campuran beton.

### 1.5. Ruang Lingkup/ Batasan Masalah

Dalam penelitian yang dilakukan, ada beberapa lingkup masalah yang dibatasi untuk mencapai maksud dan tujuan yaitu :

1. Perhitungan *mix design* dengan metode *Development Of Environment* (DOE).
2. Ditentukan target mutu beton normal adalah  $f'_c = 25$  MPa.

3. Variasi perbandingan *styrofoam* terhadap volume beton yaitu 10%, 30%, dan 50%.
4. Kuat tekan ( $f'_c$ ) beton normal dan beton *styrofoam* dengan spesimen silinder 10 x 20 cm<sup>2</sup> pada umur 7, 14, dan 28 hari.
5. Kuat tarik belah ( $f_{ct}$ ) beton normal dan beton *styrofoam* dengan spesimen silinder 10 x 20 cm<sup>2</sup> pada umur 28 hari.
6. Kuat lentur ( $f_r$ ) beton normal dan beton *styrofoam* dengan spesimen balok 10 x 10 x 40 cm<sup>3</sup> pada umur 28 hari.
7. Pengujian modulus elastisitas pada umur 28 hari.
8. Jumlah sampel yang digunakan tiap kali pengujian sebanyak 3 buah dan total sampel sebanyak 36 buah, hal ini telah memenuhi standar SNI 2847-2013 tentang jumlah minimal sampel yang dibuat.
9. *Styrofoam* yang digunakan berdiameter 3 mm-5mm.
10. Pemeriksaan, pembuatan, dan pengujian benda uji dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin di Gowa.

#### **1.6. Sistematika Penulisan**

Untuk mempermudah penulisan tugas akhir ini, sistematika yang digunakan adalah dengan membagi kerangka penulisan dalam bab dan sub bab dengan maksud agar lebih jelas dan mudah dimengerti. Terdapat 5 (Lima) pokok bahasan berturut-turut sebagai berikut :

## **BAB I. PENDAHULUAN**

Bab ini menyajikan tentang gambaran umum mengenai latar belakang pemilihan judul tugas akhir, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan yang mengurai secara singkat komposisi bab yang ada pada penulisan.

## **BAB II. TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini menguraikan teori secara singkat dan gambaran umum mengenai karakteristik beton, dan *Styrofoam* atau *expanded polystyrene*.

## **BAB III. METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini menyajikan bahasan mengenai tahapan, pengumpulan data, bahan penelitian, lokasi penelitian, dan pengujian yang dilakukan.

## **BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini menyajikan hasil analisis perhitungan data-data yang diperoleh dari hasil pengujian serta pembahasan dari hasil pengujian yang diperoleh.

## **BAB V. PENUTUP**

Merupakan bab penutup yang berisikan kesimpulan dari hasil analisis masalah dan disertai dengan saran-saran yang diusulkan.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pengertian dan Sifat Beton**

Beton adalah suatu campuran yang terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah atau agregat – agregat lain yang dicampur menjadi satu dengan suatu pasta yang terbuat dari semen dan air sehingga membentuk suatu massa mirip batuan.

Beton adalah material yang rumit. Beton dapat dibuat dengan mudah bahkan oleh mereka yang tidak punya pengertian sama sekali tentang beton teknologi, tetapi pengertian yang salah dari kesederhanaan ini sering menghasilkan persoalan dari produk, antara lain reputasi jelek dari beton sebagai materi bangunan (*Paul 2007:1*).

Nilai kuat tekan beton relatif lebih tinggi dibandingkan kuat tariknya, dan beton merupakan bahan bersifat getas. Nilai kuat tariknya hanya berkisar 9%-15% dari kuat tariknya (*Nawy 1998:41*). Sehingga umumnya beton diperkuat dengan penambahan tulangan baja dengan asumsi bahwa kedua material bekerjasama dalam menahan gaya yang bekerja dimana tulangan baja menahan gaya tarik dan beton hanya menerima gaya tekan.

Beberapa faktor yang mempengaruhi kekuatan beton yaitu bahan-bahan campuran beton, cara-cara persiapan, perawatan dan keadaan pada saat dilakukan percobaan. Setiap bahan campuran beton tersebut mempunyai variasi sifat yang dipengaruhi oleh beberapa faktor alami yang tidak dapat dihindarkan, namun

dengan mengetahui sifat-sifat bahan baku, maka dapat diketahui kebutuhan dari masing-masing bahan baku dan beberapa kekuatan yang dicapainya.

Sesuai dengan tingkat mutu beton yang hendak dicapai, maka perbandingan campuran beton harus ditentukan agar beton yang dihasilkan dapat memberikan hal-hal sebagai berikut :

1. Kemudahan dalam pengerjaan (*workability*).

Yang dimaksud dengan *workability* adalah bahwa bahan-bahan beton setelah diaduk bersama, menghasilkan adukan yang bersifat sedemikian rupa sehingga adukan mudah diangkut, dituang/dicetak, dan dipadatkan menurut tujuan pekerjaannya tanpa terjadi perubahan yang menimbulkan kesukaran atau penurunan mutu. Sifat mampu dikerjakan/*workability* dari beton sangat tergantung pada sifat bahan, perbandingan campuran, dan cara pengadukan serta jumlah seluruh air bebas. Dengan kata lain, sifat dapat/mudah dikerjakan suatu adukan beton dipengaruhi oleh :

- a. Konsistensi normal semen
- b. Mobilitas, setelah aliran dimulai (sebaliknya adalah sifat kekasaran atau perlawanan terhadap gerak)
- c. Kohesi atau perlawanan terhadap pemisahan bahan-bahan
- d. Sifat saling lekat (ada hubungannya dengan kohesi), berarti bahan penyusunnya tidak akan terpisah-pisah sehingga memudahkan pengerjaan-pengerjaan yang perlu dilakukan.

Jadi sifat dapat dikerjakan pada beton ini merupakan ukuran dari tingkat kemudahan adukan untuk diaduk, diangkut, dituang/dicetak, dan

dipadatkan. Perbandingan bahan-bahan ataupun sifat bahan-bahan itu secara bersama-sama mempengaruhi sifat dapat dikerjakan beton segar. Unsur-unsur yang mempengaruhi sifat mudah dikerjakan pada beton antara lain :

- Banyaknya air yang dipakai dalam campuran beton
- Penambahan semen ke dalam adukan beton
- Gradasi campuran agregat kasar dan agregat halus
- Pemakaian butir-butir agregat yang bulat akan mempermudah cara pengerjaan beton
- Cara pemadatan beton dan/atau jenis alat yang digunakan

2. Ketahanan terhadap kondisi lingkungan khusus (tahan lama dan kedap air).

a. Sifat Tahan Lama (*durability*)

Sifat tahan lama pada beton, merupakan sifat dimana beton tahan terhadap pengaruh luar selama dalam pemakaian. Sifat tahan lama pada beton dapat dibedakan dalam beberapa hal, antara lain sebagai berikut :

- Tahan terhadap pengaruh cuaca; pengaruh cuaca yang dimaksud adalah pengaruh yang berupa hujan dan pembekuan pada musim dingin, serta pengembangan dan penyusutan yang diakibatkan oleh basah dan kering silih berganti.
- Tahan terhadap pengaruh zat kimia; daya perusak kimiawi oleh bahan-bahan seperti air laut; rawa-rawa dan air limbah, zat-zat kimia hasil industri dan air limbahnya, buangan air kotor kota

yang berisi kotoran manusia, gula dan sebagainya perlu diperhatikan terhadap keawetan beton.

- Tahan terhadap erosi; beton dapat mengalami kikisan yang diakibatkan oleh adanya orang yang berjalan kaki dan lalu lintas di atasnya, gerakan ombak laut, atau oleh partikel-partikel yang terbawa oleh angin dan atau air.

b. Sifat Kedap Air

Beton mempunyai kecenderungan mengandung rongga-rongga yang diakibatkan oleh adanya gelembung udara yang terbentuk selama atau sesudah pencetakan selesai, atau ruangan yang saat mengerjakan (selesai dikerjakan) mengandung air. Air ini menggunakan ruangan-ruangan, dan jika air menguap maka akan meninggalkan rongga-rongga udara. Rongga udara ini merupakan peluang untuk masuknya air dari luar ke dalam beton. Semakin banyak rongga ini, maka kemungkinan masuknya air makin besar, dan kemungkinan terbentuknya pipa kapiler makin besar. Sifat kedap air pada beton terutama didapat jika didalam beton itu tidak terdapat pipa kapiler yang menerus, karena melalui pipa kapiler inilah air akan menembus beton. Jika saluran-saluran kapiler tersebut tidak ditutup kembali, sifat beton tersebut tidak kedap air. Rongga kapiler ini dapat menyempit jika hidrasi semen sempurna, karena volume yang terjadi  $\pm 2,1$  kali sebesar volume semen kering semula.

3. Memenuhi kekuatan yang hendak di capai.

Secara umum hal ini dipengaruhi oleh 2 faktor, yaitu faktor air semen (fas) dan kepadatan. Beton dengan fas kecil sampai dengan jumlah air yang cukup untuk hidrasi semen secara sempurna, dan dapat dipadatkan secara sempurna pula, akan memiliki kekuatan yang optimal. Untuk mencapai kepadatan dan hidrasi sempurna ini, ada beberapa hal yang mempengaruhi, antara lain sebagai berikut (*Wuryati Samekto 2001:42*):

a. Keadaan selama terjadinya pengerasan.

Selama semen mengeras, harus selalu cukup air supaya campuran beton tidak mengering sebelum proses pengerasan selesai.

b. Karena pengerasan semen makan waktu, maka perlu waktu yang cukup.

Biasanya waktu 4 minggu yang dipakai sebagai pedoman umum bagi waktu pengerasan semen/beton.

## 2.2 Beton Ringan

Beton normal merupakan bahan yang cukup berat, dengan berat sendiri mencapai  $2400 \text{ kg/m}^3$ . Untuk mengurangi beban mati pada suatu struktur beton maka telah banyak dipakai jenis beton ringan. Menurut Standar Nasional Indonesia 03-2847 tahun 2002, beton dapat digolongkan sebagai beton ringan jika beratnya kurang dari  $1900 \text{ kg/m}^3$ . Dalam membuat beton ringan tentunya dibutuhkan material yang memiliki berat jenis yang ringan pula. Pada umumnya berat jenis yang lebih ringan dapat dicapai jika berat beton diperkecil yang berpengaruh pada menurunnya kekuatan beton tersebut. Pembuatan beton ringan

pada prinsipnya adalah membuat rongga di dalam beton. Semakin banyak rongga udara dalam beton semakin ringan beton yang dihasilkan. Ada 3 macam cara membuat rongga udara dalam beton, yaitu

- a. Yang paling sederhana yaitu dengan memberikan agregat ringan. Agregat itu bisa berupa batu apung, batu alwa, atau abu terbang (*fly ash*) yang dijadikan batu. Adapun spesifikasi agregat ringan yang digunakan dalam pembuatan beton dengan pertimbangan utama adalah ringannya bobot dan tinggi kekuatan yang meliputi : persyaratan komposisi kimia, dan sifat fisik agregat sesuai standar SNI 03-2461-2002.
- b. Menghilangkan agregat halus (agregat halus disaring, contohnya debu/abu terbangnya dibersihkan).
- c. Meniupkan atau mengisi udara di dalam beton. Cara ketiga ini terbagi lagi menjadi secara mekanis dan secara kimiawi. Bahan campuran antara lain pasir kwarsa, semen, kapur, sedikit gypsum, air, dan dicampur aluminium pasta sebagai bahan pengembang secara kimiawi.

Secara umum kandungan udara mempengaruhi kekuatan beton. Kekuatan beton berkurang 5.5% dari kuat tekan setiap pemasukan udara 1% dari volume campuran. Beton dengan bahan pengisi udara mempunyai kekuatan 10% lebih kecil daripada beton tanpa pemasukan udara pada kadar semen dan workabilitas yang sama (*Murdock & Book, 1999*). Pada beton dengan kekuatan menengah dan tinggi, tiap 1% peningkatan kandungan udara akan mengurangi kekuatan tekan beton sekitar 5% tanpa perubahan air semen (*Mehta, 1986*). Pada penelitian ini material tambahan yang digunakan adalah *styrofoam*.

*Styorofoam* pada penelitian ini berfungsi sebagai pembentuk rongga pada beton sehingga peneliti tidak terfokus padadurabilitas *styrofoam*. Namun secara umum beton ringan memiliki standar yang berhubungan dengan durabilitas yakni “*Freezing and Thawing Test for Concrete, Method A*” berdasarkan JIS A1148. Hal ini berhubungan dengan faktor lingkungan (cuaca) khususnya di daerah dingin. Pengujian dilakukan dengan melakukan perendaman dalam air. Pada kasus ini, beton dengan agregat ringan yang dibasahi terlebih dahulu, hingga memiliki kandungan air sebesar 25-30%. Namun hasil pengujian ini tidak bisa menunjukkan secara akurat tentang ketahanan beton ringan sebab dapat dipengaruhi oleh beberapa kondisi diantaranya, durasi siklus “*freezing and thawing*” pada cuaca, temperatur minimum, dan perubahan temperatur secara drastis.

### **2.3 Material Penyusun Beton Ringan *Styrofoam***

Pada umumnya, beton mengandung rongga udara sekitar 1% - 4%, pasta semen (semen dan air) sekitar 25% - 40%, dan agregat (agregat halus dan agregat kasar) sekitar 60% - 75% . Pencampuran bahan – bahan tersebut menghasilkan suatu adukan yang mudah dicetak sesuai dengan bentuk yang diinginkan, karena adanya hidrasi semen oleh air maka adukan tersebut akan mengeras dan mempunyai kekuatan untuk memikul beban.

Penggunaan material lain yang memiliki berat jenis ringan dalam campuran beton akan mengurangi berat beton secara keseluruhan. Adapun material penyusun beton ringan yang digunakan pada penelitian ini yakni Semen PCC,

agregat kasar dan halus, air, serta *styrofoam* dengan perbandingan variasi yang berbeda-beda yakni 10%, 30%, dan 50% terhadap volume beton keseluruhan.

### 2.3.1 Semen Portland Komposit



Gambar 2.1 Semen PCC

Semen adalah suatu jenis bahan yang memiliki sifat adhesi (*adhesive*) dan kohesif (*cohesive*) yang memungkinkan melekatnya fragmen-fragmen mineral menjadi suatu massa yang padat.

Semen portland komposit merupakan bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak semen portland dan gipsum dengan satu atau lebih bahan anorganik. Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), *pozolan*, senyawa silikat, batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik 6-35% dari massa semen portland komposit. Semen portland komposit dikategorikan sebagai semen ramah lingkungan dan digunakan untuk hampir semua jenis konstruksi.



Tabel 2.1 Spesifikasi Semen Portland Komposit

Jenis Pengujian	Satuan	SNI 15 – 7064 - 2004	Semen Tonasa (PCC)
<b>Pengujian Kimia</b>			
SO <sub>3</sub>		Max 4.0	2.16
MgO		Max 6.0	0.97
Hilang Pijar		Max 5.0	1.98
<b>Pengujian Fisika</b>			
Kehalusan			
- Dengan Alat <i>Belaine</i>	$m^2/kg$	Min 280	365
- Sisa di atas ayakan 0.045 mm	%	-	9.0
Waktu Pengikatan (Alat <i>Vicast</i> )			
- Setting awal	<i>Menit</i>	Min. 45	120
- Setting akhir	<i>Menit</i>	Max. 375	300
Kekekalan dengan <i>Autoclave</i>			
- Pemuaian	%	Max. 0.8	-
- Penyusutan	%	Max. 0.2	0.02
Kuat Tekan			
- 3 hari	$Kg/cm^2$	Min 125	185
- 7 hari	$Kg/cm^2$	Min 200	263
- 28 hari	$Kg/cm^2$	Min 250	410
Panas Hidrasi		Max 12	2.75
- 7 hari	<i>Cal/gr</i>	-	65.00
- 28 hari	<i>Cal/gr</i>	-	72.21
Kandungan Udara Mortar	%	Max 12	5.25

(Sumber : PT. Semen Tonasa)

Keunggulan dari PCC (*Portland Composite Cement*) yaitu lebih mudah dikerjakan, suhu beton lebih rendah sehingga tidak mudah retak, permukaan acian dan beton lebih halus, lebih kedap air, mempunyai kekuatan yang lebih tinggi

dibanding OPC (*Ordinary Portland Cement*). Hasil pengujian kimia dan pengujian fisika dapat dilihat pada Tabel 2.1.

### **2.3.2 Agregat**

Mengingat bahwa agregat menempati 70-75% dari total volume beton maka kualitas agregat sangat berpengaruh terhadap kualitas beton. Dengan agregat yang baik, beton dapat dikerjakan (*workable*), kuat, tahan lama (*durable*), dan ekonomis. Agregat yang digunakan dalam campuran beton dapat berupa agregat alam atau agregat buatan (*artificial aggregates*). Secara umum, agregat dapat dibedakan berdasarkan ukurannya, yaitu agregat kasar dan agregat halus.

Agregat yang baik dalam pembuatan beton harus memenuhi persyaratan, yaitu (*PBI, 1971*) :

1. Harus bersifat kekal, berbutir tajam dan kuat.
2. Tidak mengandung lumpur lebih dari 5 % untuk agregat halus dan 1 % untuk agregat kasar.
3. Tidak mengandung bahan-bahan organik dan zat-zat yang reaktif alkali, dan
4. Harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak berpori.

**a. Agregat halus**



Gambar 2.2 Pasir sungai

Dalam penelitian ini digunakan agregat halus yang berasal dari Sungai Jeneberang, Sulawesi Selatan. Agregat halus dapat berupa pasir alam, pasir olahan atau gabungan dari kedua pasir tersebut. Ukurannya bervariasi antara No. 4 dan No. 100 saringan standar Amerika.

Agregat halus dapat digolongkan menjadi 3 jenis (*Wuryati Samekto 2001:16*):

1. Pasir Galian

Pasir galian dapat diperoleh langsung dari permukaan tanah atau dengan cara menggali dari dalam tanah. Pada umumnya pasir jenis ini tajam, bersudut, berpori, dan bebas dari kandungan garam yang membahayakan.

2. Pasir Sungai

Pasir sungai diperoleh langsung dari dasar sungai. Pasir sungai pada umumnya berbutir halus dan berbentuk bulat, karena akibat proses

gesekan yang terjadi sehingga daya lekat antar butir menjadi agak kurang baik.

### 3. Pasir Laut

Pasir laut adalah pasir yang diperoleh dari pantai. Bentuk butiran halus dan bulat, karena proses gesekan. Pasir jenis ini banyak mengandung garam, oleh karena itu kurang baik untuk bahan bangunan. Garam yang ada dalam pasir ini menyerap kandungan air dalam udara, sehingga mengakibatkan pasir selalu agak basah, dan juga menyebabkan pengembangan setelah bangunan selesai dibangun.

Agregat halus yang baik harus bebas bahan organik, lempung, partikel yang lebih kecil dari saringan No. 100 atau bahan-bahan lain yang dapat merusak campuran beton. (*Edward G. Nawy hal : 14*) Agregat halus merupakan pasir alam sebagai hasil disintegrasi 'alami' batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm. (*SK SNI 03-2847-2002*).

#### **b. Agregat kasar**



Gambar 2.3 Batu pecah (*chipping*)

Dalam penelitian ini digunakan agregat kasar yang berasal dari Sungai Jeneberang, Sulawesi Selatan dengan ukuran diameter maksimum 20 mm. Agregat kasar diperoleh dari alam dan juga dari proses memecah batu alam. Agregat alami dapat diklasifikasikan ke dalam sejarah terbentuknya peristiwa geologi, yaitu agregat beku, agregat sediment dan agregat metamorf, yang kemudian dibagi menjadi kelompok-kelompok yang lebih kecil. Agregat pecahan diperoleh dengan memecah batu menjadi berukuran butiran sesuai yang diinginkan dengan cara meledakan, memecah, menyaring dan seterusnya. Agregat disebut agregat kasar apabila ukurannya sudah melebihi  $\frac{1}{4}$  in ( 6 mm ).

Sifat agregat kasar mempengaruhi kekuatan akhir beton keras dan daya tahannya terhadap disintegrasi beton, cuaca, dan efek-efek perusak lainnya. Agregat kasar mineral ini harus bersih dari bahan-bahan organik, dan harus mempunyai ikatan yang baik dengan gel semen. (Nawy 1998 : 13).

### **2.3.3 Air**

Air adalah bahan dasar pembuatan beton. Berfungsi untuk membuat semen bereaksi dan sebagai bahan pelumas antara butir-butir agregat. Pada umumnya air minum dapat dipakai untuk campuran beton. Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula atau bahan kimia lainnya, bila dipakai untuk campuran beton akan sangat menurunkan kekuatannya dan dapat juga mengubah sifat-sifat semen. Selain itu air yang demikian dapat mengurangi afinitas antara agregat dengan pasta semen dan mungkin pula mempengaruhi kemudahan pengerjaan. (Nawy 1998 : 12).

Air yang diperlukan dipengaruhi faktor-faktor di bawah ini :

1. Ukuran agregat maksimum : diameter membesar, maka kebutuhan air menurun.
2. Bentuk butir : bentuk bulat, maka kebutuhan air menurun (batu pecah perlu banyak air).
3. Gradasi agregat : gradasi baik, maka kebutuhan air menurun untuk kelecakan yang sama.
4. Kotoran dalam agregat : makin banyak silt, tanah liat dan lumpur, maka kebutuhan air meningkat.
5. Jumlah agregat halus (dibandingkan agregat kasar) : agregat halus lebih sedikit, maka kebutuhan air menurun. (*Paul Nugraha 2007:74*).

Adapun air yang digunakan pada penelitian ini adalah air PDAM yang berada di Laboratorium Struktur dan Bahan Teknik Sipil Universitas Hasanuddin, Gowa.

#### **2.3.4 Styrofoam**



Gambar 2.4 *Styrofoam*

*Styrofoam* yang memiliki nama lain *polystyrene*, begitu banyak digunakan oleh manusia dalam kehidupannya sehari-hari. Begitu *Styrofoam* diciptakan pun

langsung marak digunakan di Indonesia. *Styrofoam* pada umumnya digunakan sebagai pembungkus barang elektronik dan makanan karena sifatnya yang tidak mudah bocor, praktis dan ringan.

*Polystyrene* ini dihasilkan dari *styrene* ( $C_6H_5CH=CH_2$ ) yang mempunyai gugus *phenyl* yang tersusun secara tidak teratur sepanjang garis karbon dari molekul. *Styrofoam* ini memiliki berat jenis sampai  $1050 \text{ kg/m}^3$ , kuat tarik sampai  $40 \text{ MN/m}^2$ , dan modulus lentur sampai  $3 \text{ GN/m}^2$ , modulus geser sampai  $0,99 \text{ GN/m}^2$ , angka poisson 0,33 (Dharmagiri, I.B, dkk, 2008). Dalam bentuk butiran (*granular*) *expanded polystyrene* mempunyai berat satuan sangat kecil yaitu 13-22  $\text{kg/m}^3$ . Sehingga *expanded polystyrene* dalam campuran beton sangat cocok digunakan untuk mendapatkan berat jenis beton yang ringan.

Penggunaan *styrofoam* dalam beton dapat dianggap sebagai rongga udara. Namun keuntungan menggunakan *styrofoam* dibandingkan dengan rongga udara dalam beton berongga adalah *styrofoam* mempunyai kuat tarik. Kerapatan atau berat jenis beton dengan campuran *styrofoam* dapat diatur dengan mengontrol jumlah campuran *styrofoam* dalam beton (Dharmagiri, I.B, dkk, 2008).

Pada penelitian ini digunakan *expanded polystyrene* yang memiliki ukuran butiran sebesar 3 mm – 5 mm. Persentase penggunaan *expanded polystyrene* pada campuran beton bervariasi yaitu sebesar 10%, 30%, dan 50 % dari volume beton. Penetapan persentase *expanded polystyrene* yang bervariasi dimaksudkan untuk mengetahui perilaku mekanik beton (kuat tekan, kuat tarik belah, serta kuat lentur) terbaik dalam campuran beton.

Pada penelitian ini tidak dilakukan *treatment* khusus pada *styrofoam* sesuai dengan standar pengujian beton ringan sebelum dapat digunakan/dicampur dengan beton, sebab peneliti ingin menerapkan secara langsung di lapangan tentang penggunaan *styrofoam* dalam campuran beton.

*Styrofoam* ini diperoleh dari pabrik P.T Kemasan Cipta Nusantara Makassar yang merupakan salah satu produsen kemasan dari *styrofoam* yang berada di wilayah Makassar, Sulawesi Selatan.

## **2.4 Kekuatan Beton**

Sifat-sifat utama beton yang berhubungan dengan kepentingan praktisnya adalah mengenai kekuatan, karakteristik, tegangan-regangan, penyusutan dan deformasi, respon terhadap suhu, daya serap air, dan ketahanannya. Diantara sifat-sifat beton yang paling mendapat perhatian adalah kekuatan beton, karena hal tersebut yang merupakan gambaran umum mengenai kualitas beton.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan beton dari material penyusunnya ditentukan oleh faktor air semen, porositas dan faktor-faktor intrinsik lainnya seperti kekuatan agregat, kekuatan pasta semen, kekuatan ikatan/lekatan antara semen dengan agregat.

### **2.4.1 Kuat Tekan**

Kuat Tekan merupakan suatu parameter yang menunjukkan besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji hancur oleh gaya tekan tertentu. Dapat ditulis dengan persamaan (SNI 1974-2011):



$$f'c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

$f'c$  = Kuat Tekan Beton (N/mm<sup>2</sup>)

$P$  = Beban Maksimum (N)

$A$  = Luas Penampang yang Menerima Beban (mm<sup>2</sup>)

Kuat tekan menjadi parameter untuk menentukan mutu dan kualitas beton yang ditentukan oleh agregat, perbandingan semen, dan perbandingan jumlah air. Pembuatan beton akan berhasil jika dalam pencapaian kuat tekan beton telah sesuai dengan yang telah direncanakan dalam *mix design*. Adapun hal-hal yang mempengaruhi kuat tekan beton yaitu :

1. FAS atau faktor air semen, hubungan fas dengan kuat tekan beton adalah semakin rendah nilai fas maka semakin tinggi nilai kuat tekan beton. Tetapi pada kenyataannya pada suatu nilai fas tertentu semakin rendah nilai fas maka kuat tekan beton akan rendah. Hal ini terjadi karena jika fas rendah menyebabkan adukan beton sulit dipadatkan. Dengan demikian ada suatu nilai optimal yang menghasilkan kuat tekan beton yang maksimal.
2. Umur beton, kekuatan beton akan bertambah sesuai dengan umur beton tersebut. Kecepatan bertambahnya kekuatan beton dipengaruhi oleh fas dan suhu perawatan. Semakin tinggi fas, maka semakin lambat

kenaikan kekuatan betonnya, dan semakin tinggi suhu perawatan maka semakin cepat kenaikan kekuatan betonnya.

3. Jenis Semen, kualitas pada jenis-jenis semen memiliki laju kenaikan kekuatan yang berbeda.
4. Efisiensi dari perawatan (*curing*), kehilangan kekuatan sampai 40% dapat terjadi bila terjadi pengeringan terjadi sebelum waktunya. Perawatan adalah hal yang sangat penting pada pekerjaan dilapangan dan pada pembuatan benda uji.
5. Sifat agregat, dalam hal ini kekerasan permukaan, gradasi, dan ukuran maksimum agregat berpengaruh terhadap kekuatan beton.

#### **2.4.2 Kuat Tarik Belah**

Kekuatan tarik belah beton relatif rendah, kira-kira 10-15% dari kekuatan tekannya. Pendekatan yang baik untuk menghitung kekuatan tarik beton  $f'_{ct}$  adalah dengan rumus  $0,1f'_c < f'_{ct} < 0,2f'_c$ . Kekuatan tarik lebih sulit diukur dibandingkan dengan kekuatan tekan bila dengan beban-beban aksial langsung dan masalah penjepitan (*gripping*) pada mesin. Sehingga untuk mengetahui kuat tarik beton dalam pengujian hanya dapat diukur dengan metode uji keruntuhan (*modulus of rupture*) dan metode uji belah silinder. (Nawy 1998:41).

Kuat tarik belah beton yang diperoleh dengan uji pembelahan silinder dilakukan dengan memberikan beban tekan secara merata diseluruh bagian panjang dari silinder hingga terbelah dua dari ujung ke ujung. Kuat tarik dengan uji belah silinder dapat ditentukan dengan persamaan (SNI 03-2491-2002):

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi LD} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

$f_{ct}$  = Kuat Tarik Belah Beton ( $N/mm^2$ )

$P$  = Beban pada Waktu Belah ( $N$ )

$L$  = Panjang Benda Uji Silinder ( $mm$ )

$D$  = Diameter benda uji silinder ( $mm$ )

Nilai pendekatan yang diperoleh dari hasil pengujian berulang kali mencapai kekuatan  $0,05 - 0,6$  kali  $\sqrt{f'c}$ , sehingga untuk beton normal digunakan  $0,57 \sqrt{f'c}$ , (Nawy 1998:43).

Alasan utama dari kuat tarik yang kecil bahwa pada kenyataannya beton dipenuhi retak-retak halus yang tidak dipengaruhi bila beton menerima beban tekan karena beban tekan menyebabkan retak menutup sehingga memungkinkan terjadinya penyaluran tekan, berbeda jika beton menerima beban tarik.

### 2.4.3 Kuat Lentur

Pada setiap penampang terdapat gaya-gaya dalam yang dapat diuraikan menjadi komponen-komponen yang saling tegak lurus dan menyinggung terhadap penampang tersebut. Komponen-komponen yang tegak lurus terhadap penampang tersebut merupakan tegangan-tegangan lentur (tarik pada salah satu sisi di daerah sumbu netral dan tekan pada sisi penampang lainnya). Fungsi dari komponen ini adalah untuk memikul momen lentur pada penampang.

Kuat lentur beton (*modulus of rupture*) dapat dihitung dengan persamaan 4 jika keruntuhan terjadi di bagian tengah bentang. (*ASTM-C 78-02*)

$$f_r = \frac{P.L}{bd^2} \dots\dots\dots(4)$$

Persamaan 5 digunakan jika keruntuhan terjadi pada bagian tarik diluar tengah bentang.

$$f_r = \frac{3P.a}{bd^2} \dots\dots\dots(5)$$

Dimana :

$f_r$  = Kuat Lentur Beton ( $N/mm^2$ )

$P$  = Beban maksimum ( $N$ )

$L$  = Panjang Bentang ( $mm$ )

$b$  = Lebar Spesimen ( $mm$ )

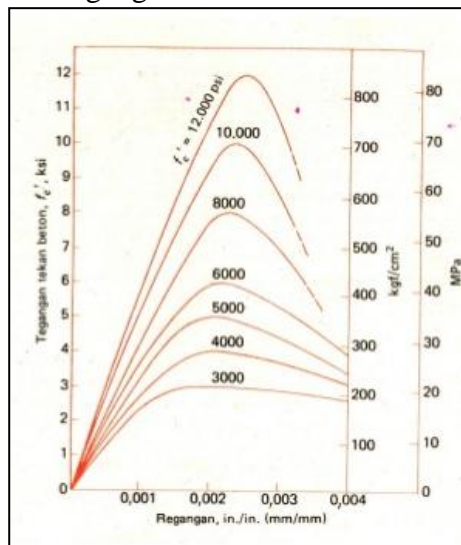
$d$  = Tinggi Spesimen ( $mm$ )

$a$  = Jarak Rata-Rata dari Garis Keruntuhan dan Titik Perletakan terdekak diukur pada Bagian Tarik Spesimen ( $mm$ )

#### 2.4.4 Modulus Elastisitas

Modulus Elastisitas merupakan perbandingan antara besarnya tegangan pada satu satuan regangan. Modulus elastisitas beton tidak pasti dan nilainya tergantung pada kekuatan beton, umur beton, jenis pembebanan, dan karakteristik serta perbandingan antara semen dan agregat.

Dari beberapa kurva tegangan-regangan pada kuat tekan beton yang berbeda terlihat bahwa secara garis besar bahwa kuat tekan maksimum tercapai pada saat nilai regangan ( $\epsilon_h$ ) mencapai  $\pm 0,002$ . Selanjutnya nilai tegangan  $f'_c$  akan mengalami penurunan dengan bertambahnya nilai regangan sampai pada benda uji hancur pada nilai regangan  $0,003-0,005$ .



Gambar 2.5 Grafik hubungan tegangan regangan beton

(Sumber Dr Edward G. Nawy, P.E. 1998)

Selanjutnya menghitung rumus modulus elastisitas eksperimen (ASTM C 469-02), yaitu :

$$E_c = \frac{(S_2 - S_1)}{(\epsilon_2 - 0.000050)} \dots\dots\dots(6)$$

Dimana :

$E_c$  = Modulus Elastisitas Beton(MPa)

$S_1$  = Tegangan pada regangan  $S_1 = 0.000050$  (MPa)

$S_2$  = 40 % tegangan max (MPa)

$\epsilon_2$  = Regangan longitudinal pada saat tegangan  $S_2$

Sedangkan secara teoritis, modulus elastisitas beton ( $E_c$ ) dapat dihitung dengan rumus (SNI 08-2847-2002):

$$E_c = 0.043 \sqrt{f'_c} \times (W_c^{1.5}) \dots\dots\dots(7)$$

Dimana :

$E_c$  = Modulus Elastisitas Beton( $MPa$ )

$f'_c$  = Kuat tekan beton umur 28 hari ( $MPa$ )

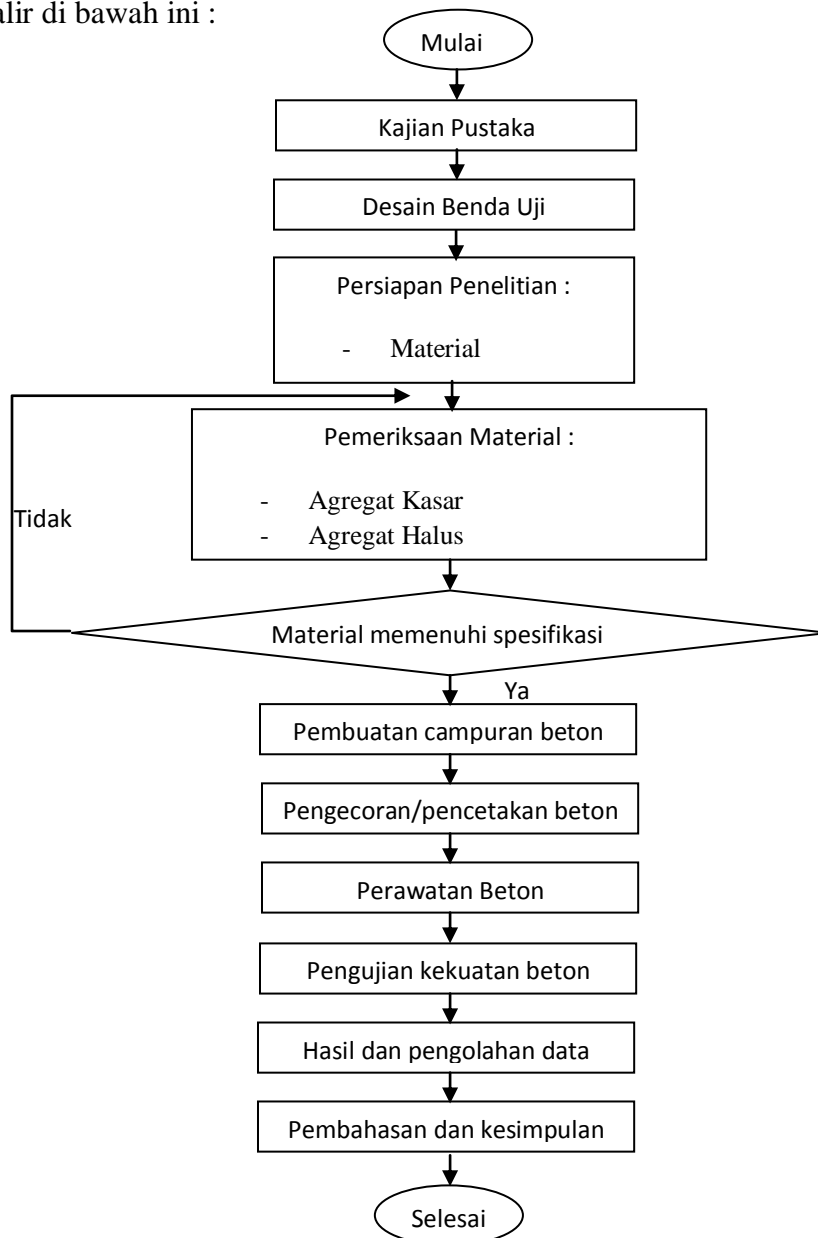
$W_c$  = Berat satuan beton ( $kg/m^3$ )

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Tahapan pelaksanaan dari penelitian ini secara garis besar dapat dilihat pada bagan alir di bawah ini :



Gambar 3.1 Bagan Alir Metodologi Penelitian

### **3.2 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Gowa. Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimen di laboratorium berupa pengujian karakteristik beton ringan dengan bahan pengisi *Styrofoam*. Waktu penelitian direncanakan kurang lebih 3 bulan yakni mulai bulan April – Juli 2015.

### **3.3 Desain dan Jumlah Benda Uji**

Desain benda uji adalah sebagai berikut:

1. Jenis benda uji terbagi menjadi 2 bentuk yaitu :

-Silinder ukuran  $10 \times 20 \text{ cm}^2$  untuk pengujian kuat tekan, modulus elastisitas, dan tarik belah.

-Balok ukuran  $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}^3$  untuk pengujian kuat lentur.

2. Variasi persentase *Styrofoam* : 10%, 30%, dan 50%.

3. *Styrofoam* yang digunakan berukuran 3-5 mm.



Jumlah benda uji yang akan dibuat dapat dilihat pada tabel 3.1 dibawah:

Tabel 3.1 Jumlah benda uji

Beton	Umur Pengujian (Hari)	Jumlah sampel	
		Silinder	Balok
Beton Normal	7	3	-
	14	3	-
	28	6	3
Beton styrofoam 10%	7	3	-
	14	3	-
	28	6	3
Beton styrofoam 30%	7	3	-
	14	3	-
	28	6	3
Beton styrofoam 50%	7	3	-
	14	3	-
	28	6	3
Jumlah		48	12

### 3.4 Persiapan Bahan dan Alat Penelitian

Bahan Penelitian terdiri dari :

1. Semen PCC merk Tonasa.
2. Agregat halus (pasir) asal Sungai Jeneberang, Sulawesi Selatan.
3. Agregat kasar (*chipping*) asal Sungai Jeneberang, Sulawesi Selatan.
4. *Styrofoam* berukuran 3-5 mm.

5. Air yang digunakan untuk campuran dan *curing* benda uji adalah air PDAM Laboratorium Struktur dan Bahan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Gowa.

Alat Penelitian :

1. *Universal Testing Machine* kapasitas 1000 KN.
2. Mesin Pencampur bahan (*mixer*/molen).
3. Cetakan berbentuk silinder 10 x 20 m<sup>2</sup>
4. Cetakan berbentuk balok 10 x 10 x 40 m<sup>3</sup>
5. *Compressometer*
6. *Slump test*
7. Timbangan
8. Bak Perendaman
9. Mistar
10. Alat Penggetar
11. *Data Logger*

### **3.5 Metode Pengecoran**

Langkah-langkah pembuatan benda uji adalah sebagai berikut :

1. Alat-alat yang akan digunakan dibersihkan terlebih dahulu, kemudian menimbang bahan-bahan yang akan digunakan sesuai dengan komposisi hasil *mix design*.

2. Menyiapkan molen yang bagian dalamnya sudah dilembabkan. Kemudian pertama-tama tuangkan agregat kasar, agregat halus, dan semen. Aduk hingga ketiga bahan tersebut tercampur merata.
3. Setelah ketiga bahan tersebut tercampur rata, masukkan air sedikit demi sedikit (untuk beton normal), dan *styrofoam* (untuk beton *styrofoam*) secara bergantian sesuai dengan variasi yang telah ditentukan.
4. Setelah tercampur rata, dilakukan uji slump untuk mengukur tingkat *workability* adukan.
5. Apabila nilai *slump* telah memenuhi spesifikasi, selanjutnya adukan beton dituangkan ke dalam cetakan silinder dan balok, dan digetarkan agar campuran beton menjadi padat.
6. Diamkan selama 24 jam.
7. Setelah 24 jam, cetakan dibuka kemudian dilakukan perawatan beton.

### **3.6 Metode Perawatan Benda Uji**

Perawatan benda uji dilakukan dengan cara direndam dalam bak perendaman. Benda uji diangkat dari bak 1 hari sebelum sampel di uji. Hal ini dimaksudkan agar pada waktu di uji, sampel dalam keadaan tidak basah.

Pengujian dilakukan pada saat sampel berumur 7, 14, dan 28 hari. Hal ini berarti benda uji diangkat dari bak pada saat berumur 6, 13, dan 27 hari.

### **3.7 Pengujian Benda Uji**

#### **1. Uji Kuat Tekan Silinder**

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kuat tekan beton yang telah mengeras dengan benda uji berbentuk silinder. Pembebanan dilakukan sampai silinder beton hancur dan dicatat besarnya beban maksimum  $P$  yang selanjutnya digunakan untuk menentukan tegangan tekan beton ( $f'_c$ )

#### **2. Uji Kuat Tarik Belah Silinder**

Pengujian ini dilakukan dengan memberikan tegangan tarik pada beton secara tidak langsung. Benda uji yang digunakan berupa silinder yang direbahkan dan ditekan sehingga terjadi tegangan tarik pada beton. Langkah-langkah pengujian sam seperti pengujian kuat tekan, hanya saja pada pengujian ini ditambahkan suatu lempengan plat besi agar dapat membagi beban merata pada panjang silinder. Beban maksimum  $P$  selanjutnya digunakan untuk menentukan tegangan tarik belah beton ( $f_t$ ).

#### **3. Uji Kuat Lentur Balok**

Pengujian lentur dilakukan untuk menentukan besarnya kekuatan lentur beton dengan benda uji balok berukuran  $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}^3$ . Pembebanan dapat dilakukan pada  $\frac{1}{2}$  bentang atau  $\frac{1}{3}$  bentang untuk mendapatkan lentur murni tanpa gaya geser. Besarnya beban  $P$  yang dicatat pada pengujian ini adalah beban

pada saat benda uji patah. Selanjutnya digunakan untuk menentukan kuat lentur balok.

#### 4. Modulus Elastisitas

Pengujian modulus elastisitas dilakukan untuk menentukan besarnya perbandingan tegangan pada satu satuan regangan dengan benda uji silinder berukuran diameter 10 x 20 cm<sup>2</sup>. Pengujian ini dilakukan pada benda uji yang sama dengan pengujian kuat tekan beton umur 28 hari menggunakan alat *Compressometer*.

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

##### 4.1.1 Agregat Halus

Pengujian karakteristik agregat didasarkan pada SNI. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat Halus

NO	KARAKTERISTIK AGREGAT	INTERVAL SPESIFIKASI	HASIL PENGAMATAN	KETERANGAN
1	Kadar lumpur	Maks 5 %	3.00%	Memenuhi
2	Kadar organik	< NO. 3	NO. 1	Memenuhi
3	Kadar air	2% - 5%	2.04%	Memenuhi
4	Berat volume			
	a. Kondisi lepas	1.6 - 1.9 kg/liter	1.46	Memenuhi
	b. Kondisi padat	1.6 - 1.9 kg/liter	1.51	Memenuhi
5	Absorpsi	Maks 2%	1.01%	Memenuhi
6	Berat jenis spesifik			
	a. Bj. Curah	1.6 - 3.3	2.40	Memenuhi
	b. Bj. Kering Permukaan	1.6 - 3.3	2.43	Memenuhi
	c. Bj. Semu	1.6 - 3.3	2.46	Memenuhi
7	Modulus kehalusan	1.50-3.80	2.56	Memenuhi

*Ket : Agregat dicuci terlebih dahulu sebelum diuji*

#### 4.1.2 Agregat Kasar

Tabel 4.2 Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat Kasar

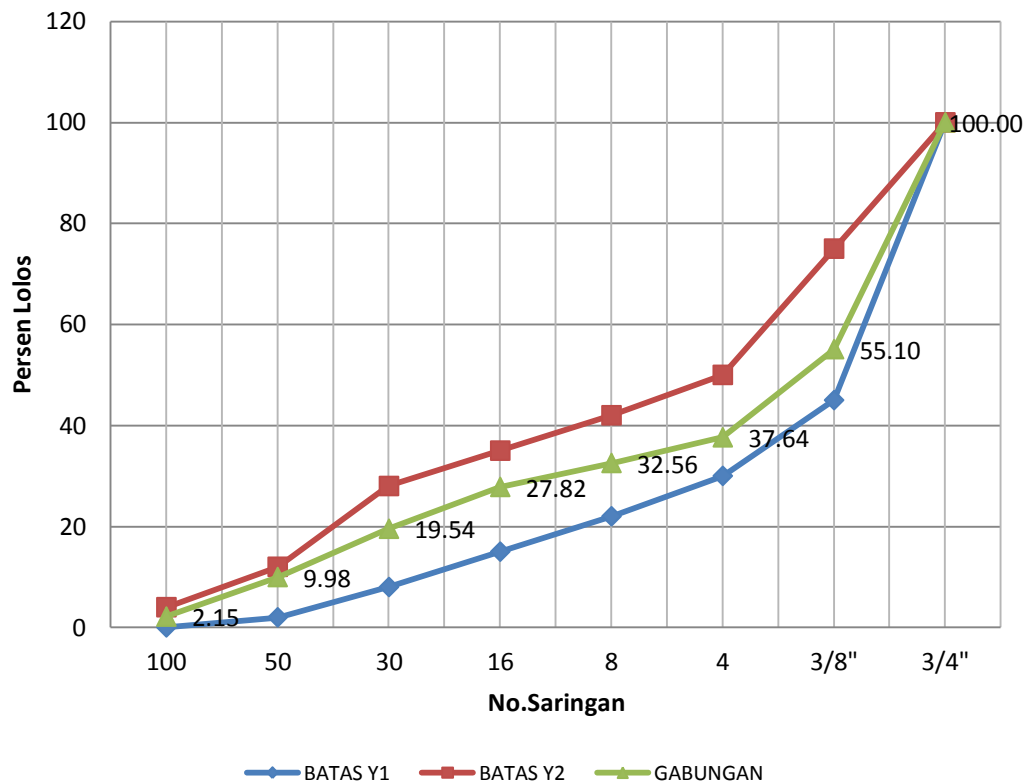
NO.	KARAKTERISTIK AGREGAT	INTERVAL SPESIFIKASI	HASIL PENGAMATAN	KETERANGAN
1	Kadar lumpur	0.2% - 1%	0.30%	Memenuhi
2	Kadar air	0.5% - 2%	1.01%	Memenuhi
3	Berat volume			
	a. Kondisi lepas	1.6- 1.9 kg/liter	1.63	Memenuhi
	b. Kondisi padat	1.6- 1.9 kg/liter	1.67	Memenuhi
4	Absorpsi	maks 4%	3.31%	Memenuhi
6	Berat jenis spesifik			
	a. Bj. Curah	1.6 - 3.3	2.49	Memenuhi
	b. Bj. Kering Permukaan	1.6 - 3.3	2.58	Memenuhi
	c. Bj. Semu	1.6 - 3.3	2.72	Memenuhi
7	Modulus kekasaran	6.0 - 7.1	6.72	Memenuhi

*Ket : Agregat dicuci terlebih dahulu sebelum diuji*

Pada Tabel 4.2 menunjukkan hasil pengujian karakteristik agregat kasar yang diperoleh melalui tahap pengujian berdasarkan pada SNI. Hasil pengujian karakteristik agregat kasar telah memenuhi spesifikasi.

#### 4.1.3 Gradasi Gabungan Agregat

Gradasi penggabungan agregat diperoleh berdasarkan pengujian karakteristik agregat yang dapat dilihat pada Gambar 4.1:



Gambar 4.1 Grafik gradasi penggabungan agregat

#### 4.1.4 Mix Design

Pada penelitian ini digunakan *mix design* metode *Development of Environment* (DOE) untuk komposisi beton normal, sedangkan untuk beton ringan *styrofoam*, penambahan *styrofoam* dilakukan sesuai variasi yang telah ditentukan.



Tabel 4.3 Komposisi kebutuhan bahan campuran beton untuk 1 m<sup>3</sup>

No	Jenis Beton Material	Beton Normal	Beton <i>styrofoam</i> 10%	Beton <i>styrofoam</i> 30%	Beton <i>styrofoam</i> 50%
1	Air (kg)	230.69	230.69	230.69	230.69
2	Semen (kg)	489.38	489.38	489.38	489.38
3	Pasir (kg)	535.80	466.06	326.59	187.13
4	Kerikil (kg)	911.11	837.87	689.79	541.71
5	<i>Styrofoam</i> (kg)	-	0.825	2.474	4.124

## 4.2 Hasil Pengujian Beton

### 4.2.1 *Slump*

*Slump Test* dilakukan untuk mengetahui tingkat kekentalan adukan beton, yang dapat menggambarkan kemudahan pengerjaan (*workability*) beton. Adapun hasil dari pengujian *slump* dapat dilihat pada Tabel 4.4:

Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Nilai *Slump*

No.	Volume <i>Styrofoam</i> (%)	Nilai <i>Slump</i> (cm)
1.	0	15
2.	10	12,2
3.	30	5
4.	50	2,6

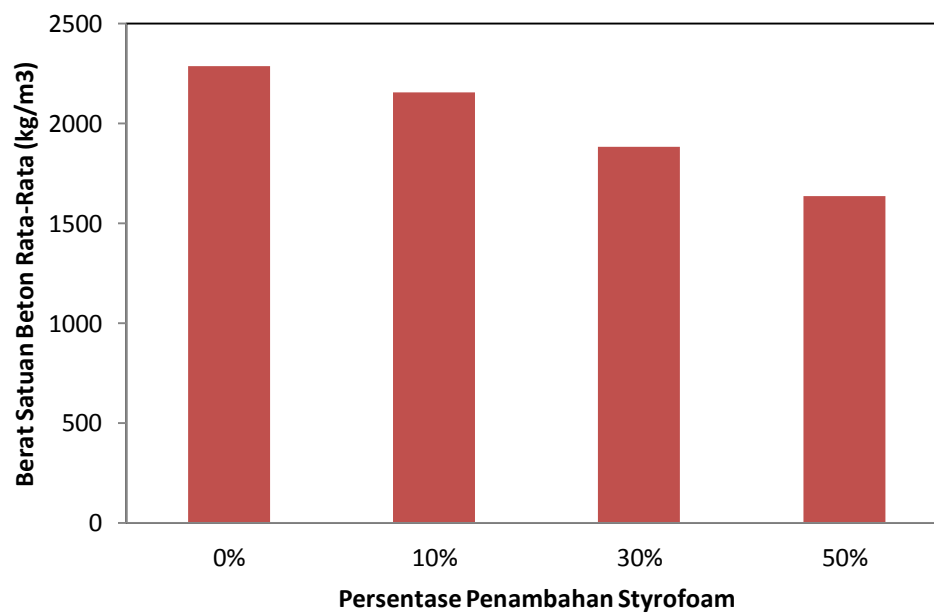
Dari Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa nilai *slump* berkurang seiring dengan penambahan volume *styrofoam*. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin besar penambahan *styrofoam* pada campuran beton, maka akan menurunkan sifat *workability*/keleccakan beton tersebut. Hal ini disebabkan oleh permukaan *styrofoam* yang licin sehingga sulit terikat dengan pasta semen bersama agregat.

#### 4.2.2 Berat Satuan Beton

Pemeriksaan berat satuan beton dilakukan pada saat beton berumur 28 hari. Adapun hasil pengujian berat satuan beton rata-rata dapat dilihat pada Tabel 4.5 berikut:

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Berat Satuan Beton Rata-Rata

Volume Styrofoam (%)	Berat Satuan Beton Rata-Rata (kg/m <sup>3</sup> )	Reduksi (%)
0	2286.46	0
10	2154.17	5.78
30	1881.25	17.72
50	1636.46	28.43



Gambar 4.2 Grafik hubungan antara berat satuan beton dengan persentase penambahan *styrofoam*

Dari Tabel 4.5 dan Gambar 4.2 dapat disimpulkan bahwa semakin besar penambahan *styrofoam* pada campuran beton, maka berat satuan beton akan semakin ringan. Berat satuan beton *styrofoam* 30% dan 50% lebih kecil dari 1900 kg/m<sup>3</sup>, dapat dikategorikan sebagai beton ringan. (SNI 03-2847-2002).

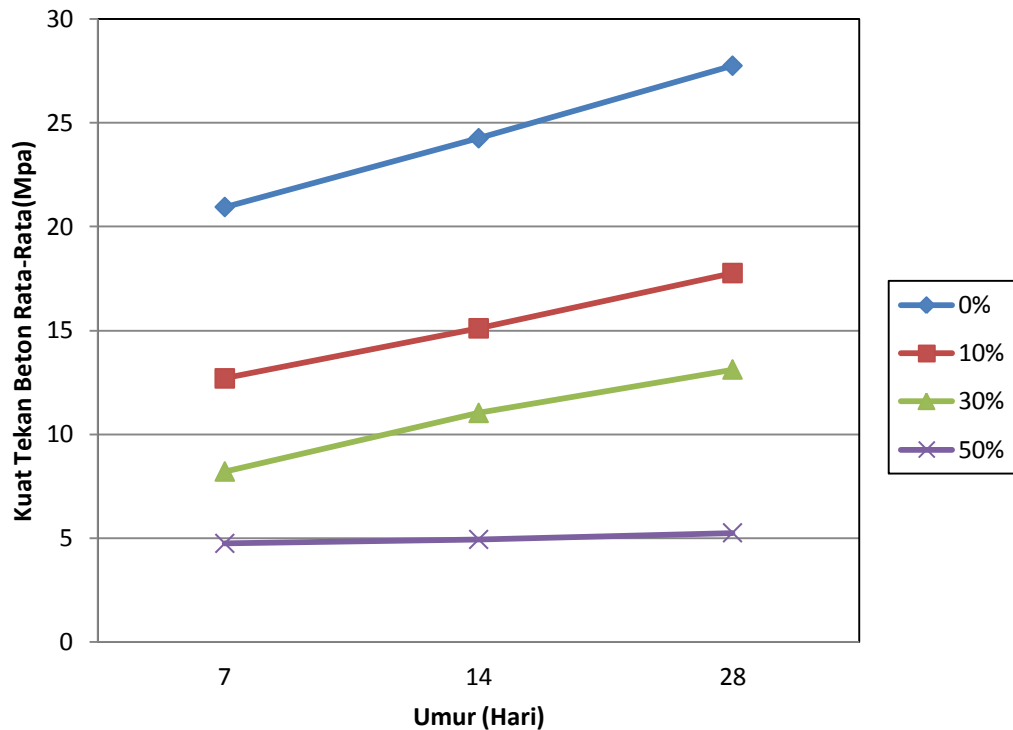
#### 4.2.3 Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton menggunakan mesin UTM kapasitas 1000 KN.

Adapun hasil perhitungan kuat beton rata-rata dapat dilihat pada Tabel 4.6:

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Kuat Tekan Beton(MPa)

Volume <i>Styrofoam</i> (%)	Umur Pengujian (Hari)	Kuat Tekan Beton Rata-Rata (MPa)
0	7	20.94
	14	24.25
	28	27.74
10	7	12.69
	14	15.10
	28	17.76
30	7	8.21
	14	11.03
	28	13.12
50	7	4.75
	14	4.94
	28	5.26



Gambar 4.3 Grafik hubungan antara kuat tekan beton dengan umur pengujian berdasarkan variasi *styrofoam*

Dari Tabel 4.6 dan Gambar 4.3 menunjukkan bahwa kuat tekan beton meningkat seiring dengan bertambahnya umur beton. Hal ini disebabkan karena proses hidrasi pada pasta semen yang terus meningkat dan memperkuat ikatan antara material. Namun penambahan volume *styrofoam* akan menurunkan kuat tekan beton secara signifikan yang disebabkan bobot *styrofoam* yang sangat ringan, sehingga *styrofoam* dianggap sebagai rongga udara pada beton.



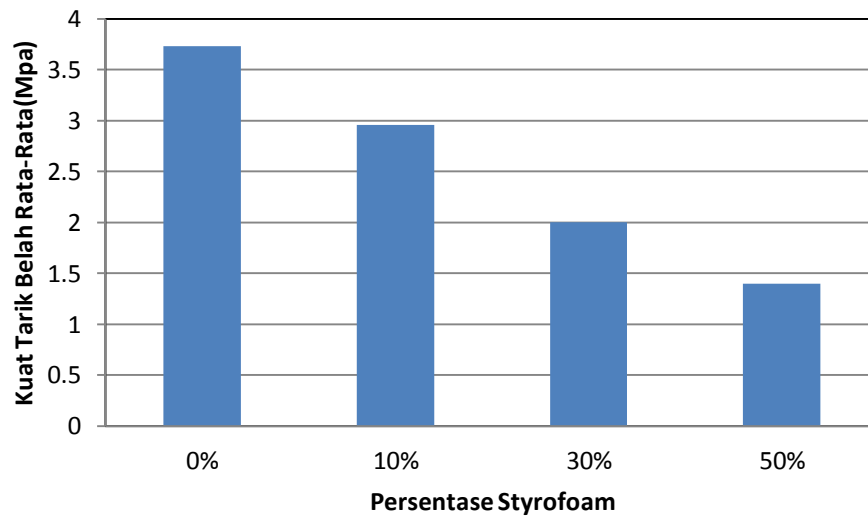
Gambar 4.4 Pengujian kuat tekan beton

#### 4.2.4 Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian kuat tarik belah beton menggunakan mesin UTM kapasitas 1000 KN pada saat benda uji berumur 28 hari. Metode pengujian sama dengan kuat tekan, namun yang membedakan adalah posisi beton yang direbahkan dan meletakkan lempengan plat diatas beton agar pada saat pengujian, beban dapat terbagi rata. Hasil perhitungan kuat tarik belah dapat dilihat pada Tabel 4.7:

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Kuat Tarik Belah Beton Rata-Rata(MPa)

Volume <i>Styrofoam</i> (%)	Umur Pengujian (Hari)	Kuat Tarik Belah Beton Rata-Rata (MPa)
0	28	3.73
10	28	2.96
30	28	2.00
50	28	1.40



Gambar 4.5 Grafik Hubungan antara Persentase *Styrofoam* dan Kuat Tarik Belah

Dari Tabel 4.7 dan Gambar 4.5 diperoleh hasil bahwa penambahan volume *styrofoam* akan menurunkan kuat tarik belah beton. Hal ini disebabkan oleh permukaan *styrofoam* yang licin, sehingga kelekatanannya dengan pasta semen kurang sempurna. Nilai kuat tarik belah untuk beton *styrofoam* 10%, 30%, dan 50% berturut-turut pada umur 28 hari sebesar mengalami penurunan sebesar 20.64%, 46.38%, dan 62.46% terhadap beton normal.



Gambar 4.6 Pengujian kuat tarik belah beton

#### 4.2.5 Hubungan Kuat Tarik Belah terhadap Kuat Tekan Beton

Hubungan antara nilai kuat tarik belah dan kuat tekan beton menurut SNI T-15-1991-03 menyatakan bahwa  $f'_{ct}=0.7\sqrt{f'_c}$ , sehingga pada penelitian ini digunakan nilai hubungan kuat tekan terhadap kuat tarik sesuai pada Tabel 4.8 berikut :

Tabel 4.8 Perbandingan Kuat Tarik Belah terhadap Kuat Tekan Beton

Umur hari	Kuat Tekan ( $f'_c$ ) (MPa)				Kuat Tarik Belah ( $f'_{ct}$ ) (MPa)			
	0%	10%	30%	50%	0%	10%	30%	50%
28	27.74	17.76	13.12	5.26	3.73	2.96	2.0	1.4

Hubungan yang diperoleh dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Beton Normal, memiliki hubungan kuat tarik terhadap kuat tekan :

$$f'_{ct} = 0.7\sqrt{f'_c}$$

2. Beton *Styrofoam* 10%, memiliki hubungan kuat tarik terhadap kuat tekan :

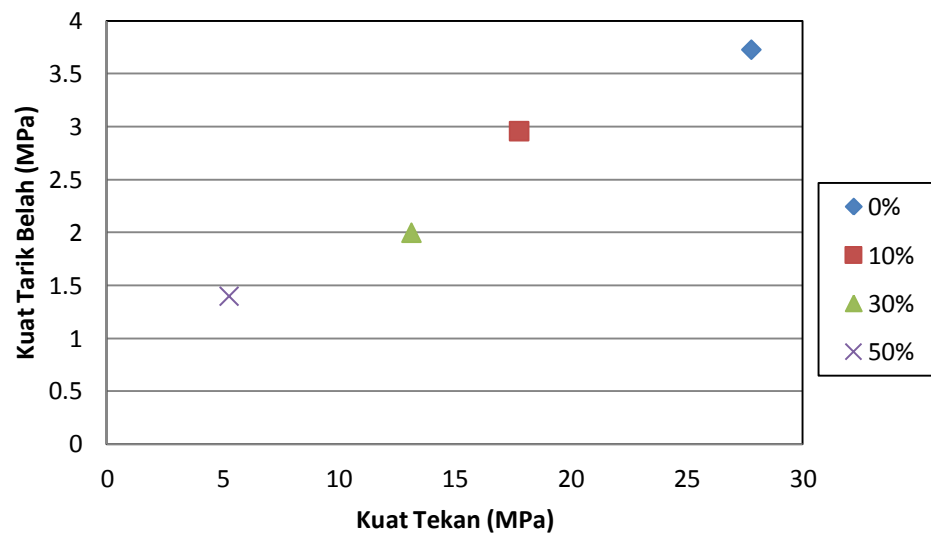
$$f'_{ct} = 0.7\sqrt{f'_c}$$

3. Beton *Styrofoam* 30%, memiliki hubungan kuat tarik terhadap kuat tekan :

$$f'_{ct} = 0.55\sqrt{f'_c}$$

4. Beton *Styrofoam* 50%, memiliki hubungan kuat tarik terhadap kuat tekan :

$$f'_{ct} = 0.61\sqrt{f'_c}$$



Gambar 4.7 Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan Kuat Tarik Belah Beton

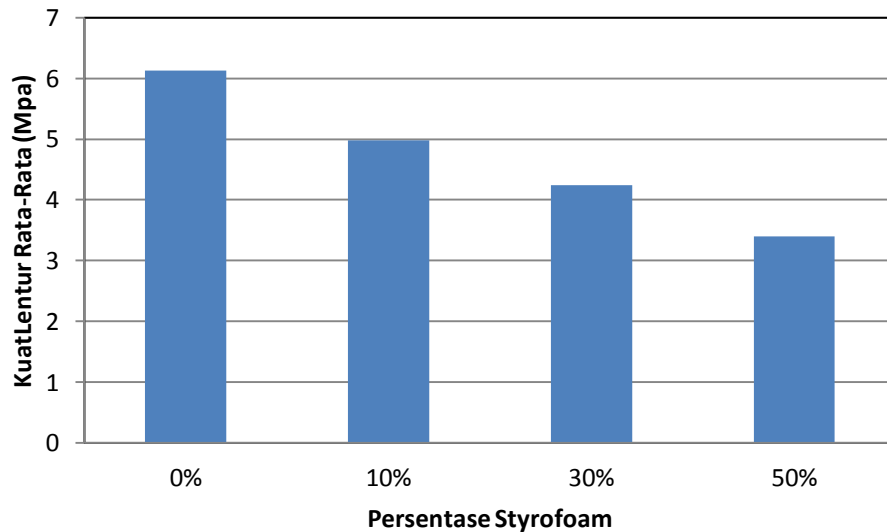
#### 4.2.6 Kuat Lentur Beton

Pengujian kuat lentur beton menggunakan mesin UTM kapasitas 1000 KN dilakukan pada saat benda uji balok berumur 28 hari. Hasil perhitungan kuat lentur beton dapat dilihat pada Tabel 4.9:

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Kuat Lentur Beton Rata-Rata (MPa)

Volume <i>Styrofoam</i> (%)	Umur Pengujian (Hari)	Kuat Lentur Beton Rata-Rata (MPa)
0	28	6.13
10	28	4.98
30	28	4.24
50	28	3.40





Gambar 4.8 Grafik Hubungan antara Persentase *Styrofoam* dan Kuat Lentur

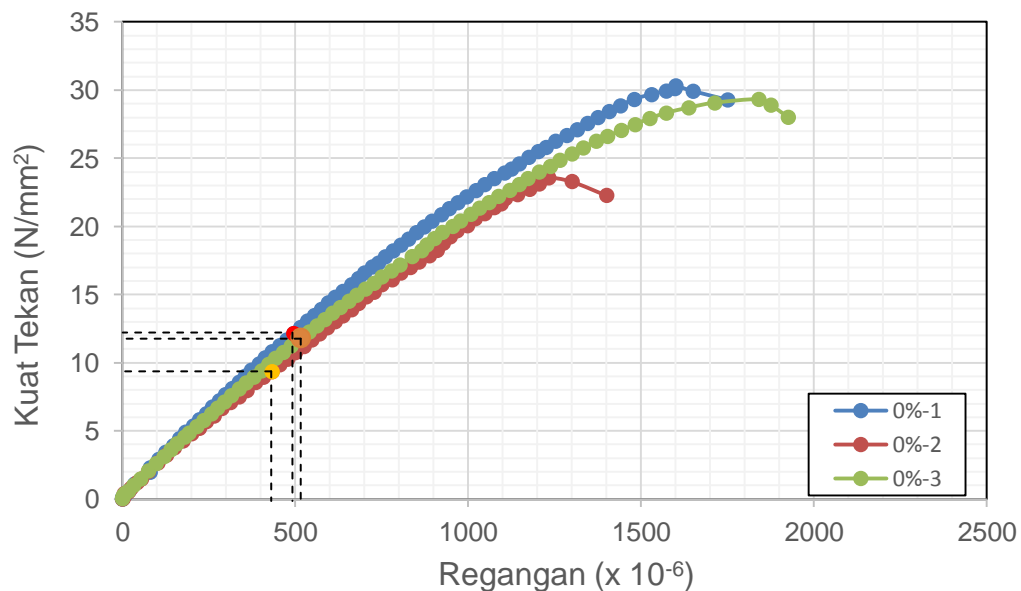
Dari Tabel 4.9 dan Gambar 4.8 diperoleh hasil bahwa semakin besar volume *styrofoam* pada beton, maka kuat lenturnya akan semakin menurun. Nilai kuat lentur untuk beton *styrofoam* 10%, 30%, dan 50% berturut-turut pada umur 28 hari sebesar mengalami penurunan sebesar 18.76%, 30.83%, dan 44.54% terhadap beton normal.



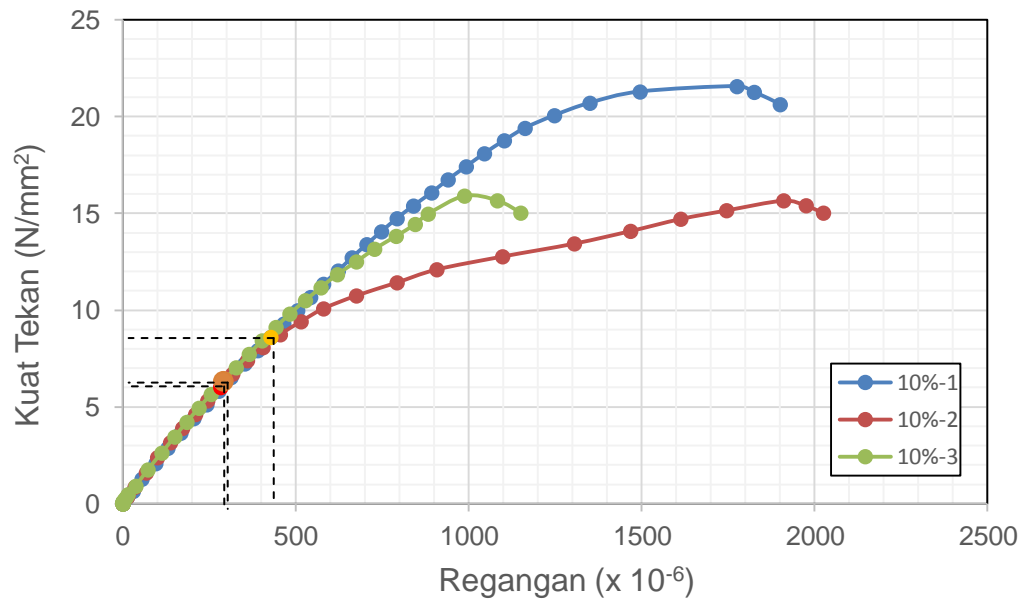
Gambar 4.9 Pengujian kuat lentur beton

#### 4.2.7 Modulus Elastisitas Beton

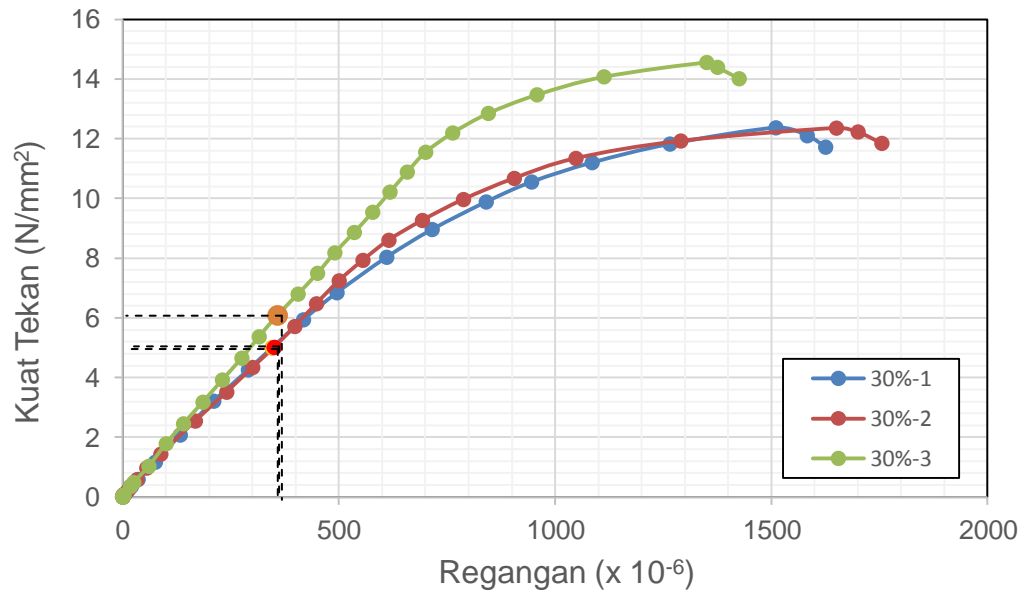
Pengujian Modulus Elastisitas dilakukan bersamaan dengan pengujian kuat tekan, menggunakan mesin UTM kapasitas 1000 KN. Namun yang membedakan adalah pada pengujian modulus elastisitas menggunakan alat tambahan berupa *compressometer* dan data *logger* untuk mengetahui regangan yang terjadi pada beton pada saat diberikan tegangan tertentu. Grafik hubungan tegangan regangan beton dapat dilihat pada gambar 4.10-4.13 :



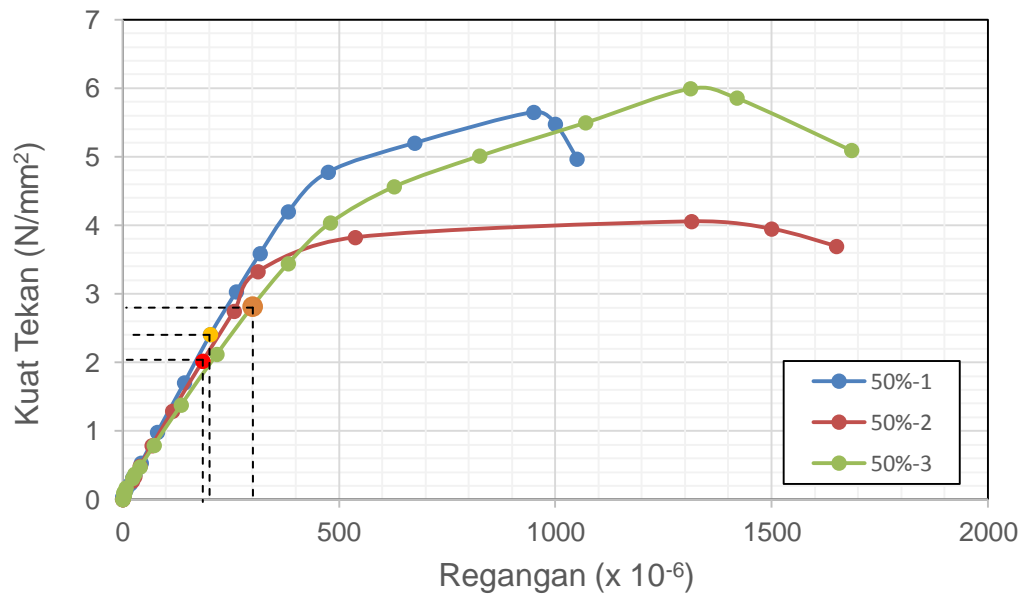
Gambar 4.10 Grafik Hubungan Tegangan Regangan Beton Normal



Gambar 4.11 Grafik Hubungan Tegangan Regangan Beton *Styrofoam* 10%



Gambar 4.12 Grafik Hubungan Tegangan Regangan Beton *Styrofoam* 30%



Gambar 4.13 Grafik Hubungan Tegangan Regangan Beton *Styrofoam* 50%

Rumus Modulus Elastisitas eksperimen dapat dihitung dengan rumus (*ASTM C 469-94*):

$$Ec = \frac{(S2-S1)}{(\epsilon2-0.000050)}$$

Dimana :

$Ec$  = Modulus Elastisitas Beton( $MPa$ )

$S1$  = Tegangan pada regangan  $S1 = 0.000050$  ( $MPa$ )

$S2$  = 40 % tegangan max ( $MPa$ )

$\epsilon2$  = Regangan longitudinal pada saat tegangan  $S2$

Sedangkan secara teoritis, modulus elastisitas beton ( $Ec$ ) dapat dihitung dengan rumus (*SNI 08-2847-2002*):

$$Ec = 0.043 \sqrt{f'c} \times (Wc^{1.5})$$

Dimana :

$E_c$  = Modulus Elastisitas Beton(MPa)

$f'_c$  = Kuat tekan beton umur 28 hari (MPa)

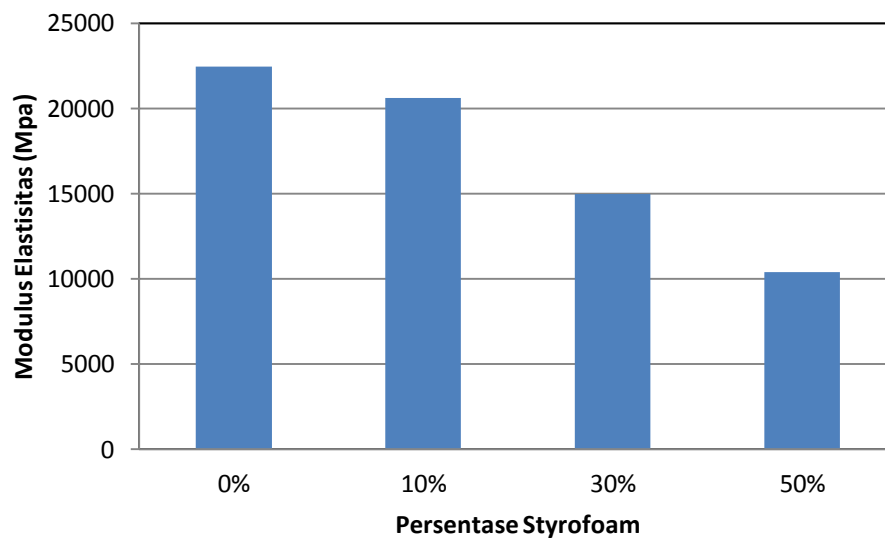
$W_c$  = Berat satuan beton ( $kg/m^3$ )

Hasil perhitungan modulus elastisitas beton eksperimen dapat dilihat pada

Tabel 4.10:

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas Rata-Rata (MPa)

Volume Styrofoam (%)	S1	S2 (MPa)	$\epsilon_2$	$E_c$ (MPa)	$E_c$ Rata-Rata (MPa)	Reduksi $E_c$ (%)
0	1.395	12.146	495	24160.078	22467.82	-
	1.373	8.349	432.5	20851.836		
	1.416	11.828	515	22391.560		
10	1.148	8.604	427.5	19749.885	20606.22	8.28
	1.200	6.014	282.5	20707.151		
	1.214	6.340	290	21361.625		
30	0.805	4.994	345	14203.095	14967.91	33.38
	0.879	5.007	350	13761.362		
	0.871	6.079	357.5	16939.262		
50	0.622	2.407	202.5	11708.794	10406.39	53.68
	0.595	2.018	185	10536.593		
	0.573	2.816	300	8973.792		



Gambar 4.14 Grafik Hubungan antara persentase beton *styrofoam* dan Modulus Elastisitas

Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas Eksperimen dan Teoritis

Volume <i>Styrofoam</i> (%)	Modulus Elastisitas Eksperimen (MPa)	Modulus Elastisitas Teoritis (MPa)
0	22467.82	24760.94
10	20606.22	18117.99
30	14967.91	12708.82
50	10406.39	6528.59

Nilai Modulus Elastisitas menurun secara signifikan seiring dengan penambahan volume *styrofoam* pada campuran beton dengan hasil eksperimen dan teoritis memberikan hasil yang hampir sama sesuai pada Tabel 4.11.



Gambar 4.15 Pengujian Modulus Elastisitas dengan alat *Compressometer*

#### 4.3 Komentar Peneliti terhadap Hasil Penelitian

1. Berbeda dengan ekspektasi peneliti sebelum melakukan penelitian, bahwa *Styrofoam* yang memiliki nilai kuat tarik, ternyata tidak mampu meningkatkan nilai kuat tarik belah, kuat tekan serta kuat lentur setelah tercampur pada beton. Hal ini disebabkan oleh fungsi *styrofoam* sebagai pembentuk rongga pada beton, serta permukaan *styrofoam* yang licin, sehingga tidak bisa terikat secara sempurna dengan beton.
2. Metodologi pencampuran dan pemadatan beton *styrofoam* perlu diperhatikan agar *styrofoam* dapat tercampur merata.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan 30% *styrofoam* dari volume beton dapat dikategorikan sebagai beton ringan dengan *range* berat volume maksimal  $1900 \text{ kg/m}^3$ .
2. Kuat tekan beton dipengaruhi oleh besarnya volume *styrofoam* dalam campuran beton. Dimana semakin besar volume *styrofoam* maka semakin rendah kuat tekan yang dihasilkan. Nilai kuat tekan dengan volume *styrofoam* 0%, 10%, 30%, dan 50% rata-rata pada umur 28 hari berturut-turut adalah 27.74 MPa, 17.76 Mpa, 13.12 MPa, dan 5.26 MPa.
3. Dari hasil uji tarik belah, diperoleh fakta bahwa semakin besar volume *styrofoam* maka semakin rendah kuat tarik belah yang dihasilkan dengan penurunan maksimum terhadap beton normal sebesar 62.46 % pada volume 50% *styrofoam*.
4. Untuk uji kuat lentur, persentase penurunan kuat lentur pada penambahan volume *styrofoam* 10%, 30%, dan 50% terhadap beton normal berturut-turut sebesar 18.76%, 30.83%, dan 44.54%. Sehingga semakin besar volume *styrofoam* yang ditambahkan pada beton, maka semakin rendah nilai kuat lentur yang dihasilkan.



5. Nilai Modulus Elastisitas menurun secara signifikan seiring dengan penambahan volume *styrofoam* pada campuran beton. Perbandingan antara eksperimen dan teoritis memberikan hasil yang hampir sama.

## 5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan diatas maka diajukan beberapa saran berikut :

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut pada beton ringan *styrofoam* untuk meningkatkan sifat mekanik beton yaitu kuat tekan, kuat tarik belah, serta kuat lentur.
2. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk metode pemadatan campuran beton ringan (*styrofoam*) agar pada saat digetarkan, *styrofoam* tidak naik ke permukaan, sehingga campuran bisa lebih merata dan terikat sempurna.

## DAFTAR PUSTAKA

- Akkas, Abdul Majid, 1996, *Rekayasa Bahan / Bahan Bangunan*, Jurusan Sipil, Makassar
- Departemen Pekerjaan Umum, 1971, *Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI 1971)*, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
- Departemen Pekerjaan Umum, 2002, *Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton SNI 03-2491-2002*, Badan Standarisasi Nasional
- Departemen Pekerjaan Umum, 2011, *Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder SNI 1974-2011*, Badan Standarisasi Nasional
- Departemen Pekerjaan Umum, 2002, *Spesifikasi Agregat Ringan untuk Beton Ringan Struktural SNI 03-2461-2002*, Badan Standarisasi Nasional
- Departemen Pekerjaan Umum, 2002, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung dengan Standar SK SNI 03-2487-2002*, Badan Standarisasi Nasional
- Departemen Pekerjaan Umum, 2008, *Cara Uji Berat Isi Beton Ringan Struktural SNI 3402-2008*, Badan Standarisasi Nasional
- Departemen Pekerjaan Umum, 2013, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung dengan Standar SK SNI 03-2487-2013*, Badan Standarisasi Nasional
- Dharmagiri, I.B, dkk. 2008. *Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton dengan Penambahan Styrofoam (Styrocon)*, Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, Vol 12 No. 1
- JIS A 1148, 2010, *Method of Test for Resistance of Concrete to Freeze and Thawing*, Japan Concrete Institute.

Mehta, P.K., 1986, *Structure, Properties and Material*, Prentice Hall, New Jersey.

Mulyono, Tri, 2003, *Teknologi Beton*. Penerbit C.V Andi Offset, Yogyakarta

Murdock, L.J dan Brook, K.M., 1999, *Bahan dan Praktek Beton*, Edisi keempat, Erlangga, Jakarta.

Nawy, Edward G., 1998. *Beton Bertulang (Suatu Pendekatan Dasar)*, Penerbit PT. Rafika Aditama, Bandung.

Paul Nugraha, Antoni. 2007. *Teknologi Beton*. Penerbit C.V Andi Offset, Yogyakarta

Samekto, Wuriyati dan Rahmadiano, Candra. 2001, *Teknologi Beton*, Penerbit Kanisius, Yogyakarta.

## REKAPITULASI HASIL UJI MATERIAL

Tanggal Periksa : 14-19 Maret 2015

Penelitian : Karakteristik Beton Ringan dengan Bahan Pengisi  
*Styrofoam*

Diperiksa oleh : A.Agung Fadhilah P.

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	
		Agregat Kasar	Agregat Halus
1	Kadar Lumpur	0.3 %	3%
2	Kadar Air	1.01%	2.04%
3	Kadar Organik	-	No.1
4	Berat Jenis Spesifik		
	a. BJ Curah	2.49	2.40
	b. BJ Semu	2.72	2.46
	c. Bj Kering Permukaan	2.58	2.43
5	Penyerapan Air	3.31%	1.01%
7	Modulus kehalusan	-	2.56
8	Modulus kekasaran	6.72	-
9	Berat volume lepas	1.63	1.46
10	Berat volume padat	1.67	1.51

Makassar, Juli 2015

Sekretaris Laboratorium Struktur dan Bahan

Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, ST, MT

Nip. 19720619 200012 2 001

## REKAPITULASI HASIL UJI BETON

Tanggal Periksa : Juni-Juli 2015  
Penelitian : Karakteristik Beton Ringan dengan Bahan Pengisi  
*Styrofoam*  
Diperiksa oleh : A.Agung Fadhillah P.

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian			
		Beton Normal	Beton 10%	Beton 30%	Beton 50%
1	Berat Volume Beton (kg/m <sup>3</sup> )	2286.46	2154.17	1881.25	1636.46
2	Kuat Tekan (Mpa)	27.74	17.76	13.12	5.26
3	Kuat Tarik Belah (Mpa)	3.73	2.96	2.00	1.40
4	Kuat Lentur (Mpa)	6.13	4.98	4.24	3.40
5	Modulus Elastisitas (Mpa)	21995.18	19677.88	14297.46	10142.88

Makassar, Juli 2015

Sekretaris Laboratorium Struktur dan Bahan

Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, ST, MT

Nip. 19720619 200012 2 001

## HASIL UJI KUAT TEKAN BETON

Tanggal Periksa : Juni-Juli 2015  
 Penelitian : Karakteristik Beton Ringan dengan Bahan Pengisi  
*Styrofoam*  
 Diperiksa oleh : A.Agung Fadhillah P.

No .	Beton	Berat (kg)	Tinggi (mm)	Berat isi (kg/m <sup>3</sup> )	P maks (kN)	Kuat tekan (Mpa)	Kuat tekan rata-rata (Mpa)
1	Beton Normal	3.675	200	2296.87	168.5	21.45	20.94
		3.675	200	2296.87	162	20.62	
		3.645	200	2278.12	163	20.75	
2	Beton Styrofoam 10%	3.375	200	2109.37	74	9.42	12.69
		3.420	200	2137.50	114.5	14.57	
		3.395	200	2121.87	110	14	
3	Beton Styrofoam 30%	3.000	200	1875.00	60.5	7.7	8.21
		3.055	200	1909.37	75.5	9.61	
		3.010	200	1881.25	57.5	7.32	
4	Beton Styrofoam 50%	2.635	200	1646.87	42.5	5.41	4.75
		2.620	200	1637.50	38.5	4.90	
		2.600	200	1625.00	31	3.95	

*Umur Sampel 7 hari*

Makassar, Juli 2015

Sekretaris Laboratorium Struktur dan Bahan

Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, ST, MT

Nip. 19720619 200012 2 001

## HASIL UJI KUAT TEKAN BETON

Tanggal Periksa : Juni-Juli 2015  
Penelitian : Karakteristik Beton Ringan dengan Bahan Pengisi  
*Styrofoam*  
Diperiksa oleh : A.Agung Fadhilah P.

No .	Beton	Berat (kg)	Tinggi (mm)	Berat isi (kg/m <sup>3</sup> )	P maks (kN)	Kuat tekan (Mpa)	Kuat tekan rata-rata (Mpa)
1	Beton Normal	3.655	200	2284.37	198.35	25.25	24.25
		3.635	200	2271.87	190.5	24.25	
		3.655	200	2284.37	182.6	23.49	
2	Beton Styrofoam 10%	3.390	200	2118.75	120	15.28	15.10
		3.420	200	2137.50	120.3	14.72	
		3.395	200	2121.87	115.6	15.31	
3	Beton Styrofoam 30%	3.030	200	1893.75	94.5	12.03	11.03
		2.995	200	1871.87	80	10.18	
		3.000	200	1875.00	85.5	10.88	
4	Beton Styrofoam 50%	2.630	200	1643.75	43	5.09	4.94
		2.665	200	1665.62	31.8	4.84	
		2.645	200	1653.12	38	4.90	

*Umur Sampel 14 hari*

Makassar, Juli 2015

Sekretaris Laboratorium Struktur dan Bahan

Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, ST, MT

Nip. 19720619 200012 2 001

## HASIL UJI KUAT TEKAN BETON

Tanggal Periksa : Juni-Juli 2015  
Penelitian : Karakteristik Beton Ringan dengan Bahan Pengisi  
*Styrofoam*  
Diperiksa oleh : A.Agung Fadhilah P.

No .	Beton	Berat (kg)	Tinggi (mm)	Berat isi (kg/m <sup>3</sup> )	P maks (kN)	Kuat tekan (Mpa)	Kuat tekan rata-rata (Mpa)
1	Beton Normal	3.660	200	2287.50	237	30.17	27.74
		3.665	200	2290.63	186.2	23.71	
		3.650	200	2281.25	230.4	29.33	
2	Beton Styrofoam 10%	3.445	200	2153.13	169.6	21.59	17.76
		3.410	200	2131.25	123	15.66	
		3.485	200	2178.13	126	16.04	
3	Beton Styrofoam 30%	2.990	200	1868.75	97.6	12.43	13.12
		3.010	200	1881.25	97	12.35	
		3.030	200	1893.75	114.6	14.59	
4	Beton Styrofoam 50%	2.635	200	1646.87	45.2	5.75	5.26
		2.650	200	1656.25	31.8	4.05	
		2.645	200	1653.13	47	5.98	

*Umur Sampel 28 hari*

Makassar, Juli 2015

Sekretaris Laboratorium Struktur dan Bahan

Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, ST, MT

Nip. 19720619 200012 2 001



## HASIL UJI KUAT TARIK BELAH BETON

Tanggal Periksa : Juni-Juli 2015  
Penelitian : Karakteristik Beton Ringan dengan Bahan Pengisi  
*Styrofoam*  
Diperiksa oleh : A.Agung Fadhillah P.

No .	Beton	Berat (kg)	Tinggi (mm)	Berat isi (kg/m <sup>3</sup> )	P maks (kN)	Kuat tarik belah (Mpa)	Kuat tarik belah rata-rata (Mpa)
1	Beton Normal	3.655	200	2284.37	108.6	3.46	3.73
		3.660	200	2287.50	125.4	3.99	
		3.665	200	2290.63	117.5	3.74	
2	Beton Styrofoam 10%	3.465	200	2165.63	91.8	2.92	2.96
		3.460	200	2162.50	82.6	2.63	
		3.475	200	2171.87	105	3.34	
3	Beton Styrofoam 30%	2.980	200	1862.50	67.8	2.16	2.00
		2.960	200	1850.00	61.2	1.95	
		3.010	200	1881.25	59.4	1.89	
4	Beton Styrofoam 50%	2.665	200	1665.63	39.8	1.27	1.40
		2.710	200	1693.75	40.8	1.29	
		2.645	200	1653.13	51.4	1.64	

*Umur Sampel 28 hari*

Makassar, Juli 2015

Sekretaris Laboratorium Struktur dan Bahan

Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, ST, MT

Nip. 19720619 200012 2 001

## HASIL UJI KUAT LENTUR BETON

Tanggal Periksa : Juni-Juli 2015  
Penelitian : Karakteristik Beton Ringan dengan Bahan Pengisi  
*Styrofoam*  
Diperiksa oleh : A.Agung Fadhillah P.

No .	Beton	Berat (kg)	Berat isi (kg/m <sup>3</sup> )	P maks (kN)	Kuat lentur (Mpa)	Kuat lentur rata-rata (Mpa)
1	Beton Normal	9.250	2312.50	15	6	6.13
		9.010	2252.50	15.8	6.32	
		9.300	2325.00	15.2	6.08	
2	Beton Styrofoam 10%	8.850	2212.50	14.8	5.92	4.98
		8.600	2150.00	14.2	5.68	
		8.750	2187.50	8.4	3.36	
3	Beton Styrofoam 30%	7.675	1918.75	10.2	4.08	4.24
		7.850	1962.50	9.2	3.68	
		7.540	1885.00	12.4	4.96	
4	Beton Styrofoam 50%	6.645	1661.25	8.3	3.32	3.4
		6.420	1605.00	8	3.2	
		6.850	1712.50	9.2	3.68	

*Umur Sampel 28 hari*

Makassar, Juli 2015

Sekretaris Laboratorium Struktur dan Bahan

Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, ST, MT

Nip. 19720619 200012 2 001

## HASIL UJI MODULUS ELASTISITAS BETON

Tanggal Periksa : Juni-Juli 2015  
Penelitian : Karakteristik Beton Ringan dengan Bahan Pengisi  
*Styrofoam*  
Diperiksa oleh : A.Agung Fadhillah P.

No .	Beton	Modulus Elastisitas (Mpa)	Modulus Elastisitas Rata-Rata (Mpa)
1	Beton Normal	24160.078 20851.836 22391.560	22467.82
2	Beton Styrofoam 10%	19749.885 20707.151 21361.625	20606.22
3	Beton Styrofoam 30%	14203.095 13761.362 16939.262	14967.91
4	Beton Styrofoam 50%	11708.794 10536.593 8973.792	10406.39

*Umur Sampel 28 hari*

\

Makassar, Juli 2015

Sekretaris Laboratorium Struktur dan Bahan

Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, ST, MT

Nip. 19720619 200012 2 001

## DOKUMENTASI KEGIATAN PENELITIAN



Pencucian dan penyaringan agregat



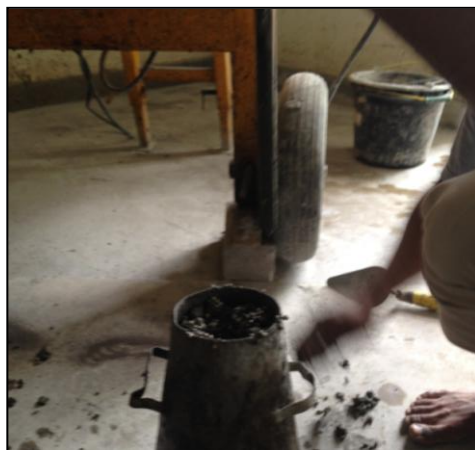
Persiapan cetakan (*mould*) sebelum *mix*



*Mix* beton normal dalam molen



*Mix* beton *styrofoam* dalam molen



Uji *Slump*



Nilai *Slump*



Meratakan campuran beton dalam *mould*



*Curing* beton dalam bak perendaman



Menimbang berat basah beton



Mengeringkan benda uji sebelum diuji





Menimbang berat kering beton sebelum diuji



Uji tekan beton dengan UTM



Pengujian kuat tarik belah



Pengujian kuat lentur



Pengujian modulus elastisitas dengan alat  
*Compressometer*



Beton *styrofoam* 50% Hasil Uji Kuat Tekan



Beton normal hasil uji kuat tarik belah



Beton *styrofoam* 10% hasil uji kuat tarik belah





Beton styrofoam 50% hasil uji kuat tarik belah



Beton normal hasil pengujian kuat lentur



Beton *styrofoam* 50% hasil pengujian kuat lentur



### PEMERIKSAAN BERAT VOLUME PASIR

KODE	KETERANGAN	PADA T	LEPA S
A	Volume mould (liter)	6.123	6.123
B	Berat mould kosong (kg)	3.740	3.740
C	Berat mould + benda uji (kg)	12.978	12.655
D	Berat benda uji (C - B)	9.238	8.915
Berat volume	$= \frac{C - B}{A} \text{ (kg/liter)}$	1.51	1.46

Makassar, Juli 2015

Sekretaris Laboratorium Struktur dan Bahan

Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, ST, MT

Nip. 19720619 200012 2 001

### PEMERIKSAAN KADAR AIR PASIR

KODE	KETERANGAN	BERAT
A	Berat tempat/talam (gram)	145.00
B	Berat tempat + benda uji (gram)	895.00
C	Berat benda uji = B - A (gram)	750.00
D	Berat benda uji kering (gram)	735.00
Kadar air = $\frac{C - D}{D} \times 100\%$		<b>2.04%</b>

Makassar, Juli 2015

Sekretaris Laboratorium Struktur dan Bahan

Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, ST, MT

Nip. 19720619 200012 2 001

### PEMERIKSAAN KADAR LUMPUR PASIR

A.	Berat kering sebelum dicuci	=	500.00	gram
B.	Berat kering setelah dicuci	=	485.00	gram

$$\begin{aligned}\text{Kadar lumpur} &= \frac{A - B}{A} \times 100\% \\ &= \frac{500.00 - 485.00}{500.00} \times 100\% \\ &= 3.00\%\end{aligned}$$

Makassar, Juli 2015

Sekretaris Laboratorium Struktur dan Bahan

Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, ST, MT

Nip. 19720619 200012 2 001

## PEMERIKSAAN BERAT JENIS & PENYERAPAN PASIR

A. Berat Picnometer	=	205.0 gram
B. Berat contoh kondisi SSD di udara	=	500.0 gram
C. Berat Picnometer + air + contoh SSD	=	1,074.0 gram
D. Berat Picnometer + air (standar)	=	780.0 gram
E. Berat contoh kering oven di udara	=	495.0 gram

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis Curah} &= \frac{E}{D + B - C} \\ &= \frac{495.00}{780.00 + 500.00 - 1,074.00} = 2.40 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis Kering Permukaan} &= \frac{B}{D + B - C} \\ &= \frac{500.00}{780.00 + 500.00 - 1,074.00} = 2.43 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis Semu} &= \frac{E}{D + E - C} \\ &= \frac{495.00}{780.00 + 495.00 - 1,074.00} = 2.46 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Water absorption} &= \frac{B - E}{E} \times 100\% \\ &= \frac{500.00 - 495.00}{495.00} \times 100\% = 1.01\% \end{aligned}$$

Makassar, Juli 2015

Sekretaris Laboratorium Struktur dan Bahan

Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, ST, MT

Nip. 19720619 200012 2 001

## **PEMERIKSAAN KADAR ORGANIK PASIR**

Pemeriksaan pada standar warna menunjukkan *warna larutan bening yaitu no.1 sehingga dapat disimpulkan bahwa pasir tersebut bisa dipakai sebagai bahan campuran beton tanpa dicuci terlebih dahulu.*

Makassar, Juli 2015

Sekretaris Laboratorium Struktur dan Bahan

Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, ST, MT

Nip. 19720619 200012 2 001

## PEMERIKSAAN ANALISA SARINGAN PASIR

NOMOR SARINGAN	BERAT TERTAHAN	PERSEN TERTAHAN	KUMULATIF PERSEN TERTAHAN	PERSEN LOLOS
	Gram	%	%	%
4	0.00	0.00	0.00	100.00
8	135.00	13.50	13.50	86.50
16	126.00	12.60	26.10	73.90
30	220.00	22.00	48.10	51.90
50	254.00	25.40	73.50	26.50
100	208.00	20.80	94.30	5.70
200	54.00	5.40	99.70	0.30
pan	3.00	0.30	100.00	0.00
JUMLAH	1,000.00	100.00		

$$\begin{array}{l} \text{MODULUS KEHALUSAN} \\ \text{PASIR (F)} \end{array} = \frac{255.50}{100} = 2.56$$

Makassar, Juli 2015

Sekretaris Laboratorium Struktur dan Bahan

Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, ST, MT

Nip. 19720619 200012 2 001

### PEMERIKSAAN BERAT VOLUME KERIKIL

KODE	KETERANGAN	PADA T	LEPA S
A	Volume mould (liter)	9.721	9.721
B	Berat mould kosong (kg)	3.950	3.950
C	Berat mould + benda uji (kg)	20.220	19.770
D	Berat benda uji (C - B)	16.270	15.820
Berat volume	$= \frac{C - B}{A} \text{ (kg/liter)}$	1.67	1.63

Makassar, Juli 2015

Sekretaris Laboratorium Struktur dan Bahan

Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, ST, MT

Nip. 19720619 200012 2 001

### PEMERIKSAAN KADAR AIR KERIKIL

KODE	KETERANGAN	BERAT
A	Berat tempat/talam (gram)	145.00
B	Berat tempat + benda uji (gram)	1645.00
C	Berat benda uji = B - A (gram)	1500.00
D	Berat benda uji kering (gram)	1485.00
Kadar air	$= \frac{C - D}{D} \times 100\%$	<b>1.01%</b>

Makassar, Juli 2015

Sekretaris Laboratorium Struktur dan Bahan

Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, ST, MT

Nip. 19720619 200012 2 001



## PEMERIKSAAN KADAR LUMPUR KERIKIL

- A. Berat kering sebelum dicuci = 1000.00 gram
- B. Berat kering setelah dicuci = 997.00 gram

$$\begin{aligned}\text{Kadar lumpur} &= \frac{A - B}{A} \times 100\% \\ &= \frac{1000.00 - 997.00}{1000.00} \times 100\% \\ &= 0.30\%\end{aligned}$$

Makassar, Juli 2015

Sekretaris Laboratorium Struktur dan Bahan

Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, ST, MT

Nip. 19720619 200012 2 001

## PEMERIKSAAN BERAT JENIS & PENYERAPAN KERIKIL

- A. Berat contoh kondisi SSD di udara = 2,500 gram
- B. Berat contoh kondisi kering oven di udara = 2,420 gram
- C. Berat benda uji SSD dalam air = 1,530 gram

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis Curah} &= \frac{A}{A - C} \\ &= \frac{2420.00}{2500.00 - 500.00} = 2.49 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis Kering Permukaan} &= \frac{A}{A - C} \\ &= \frac{2500.00}{2500.00 + 1530.00} = 2.58 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis Semu} &= \frac{B}{B - C} \\ &= \frac{2420.00}{2420.00 + 1530.00} = 2.72 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Water absorption} &= \frac{A - B}{B} \times 100\% \\ &= \frac{2500.00 - 2420.00}{2420.00} \times 100\% = 3.31\% \end{aligned}$$

Makassar, Juli 2015

Sekretaris Laboratorium Struktur dan Bahan

Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, ST, MT

Nip. 19720619 200012 2 001

## PEMERIKSAAN ANALISA SARINGAN KERIKIL

Berat contoh kering = 2000 gram

NOMOR SARINGAN	BERAT TERTAHAN	PERSEN TERTAHAN	KUMULATIF PERSEN TERTAHAN	PERSEN LOLOS
	gram	%	%	%
1	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4 "	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8 "	1,440.00	72.00	72.00	28.00
No.4	560.00	28.00	100.00	0.00
JUMLAH	2,000.00	100.00	172.00	228.00

$$\begin{aligned}\text{MODULUS KEKASARAN} \\ \text{KERIKIL (F)} &= \frac{172.00 + (5 \times 100)}{100} \\ &= 6.72\end{aligned}$$

Makassar, Juli 2015

Sekretaris Laboratorium Struktur dan Bahan

Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, ST, MT

Nip. 19720619 200012 2 001

## PENGUJIAN BERAT VOLUME *STYROFOAM*

Perhitungan Berat Volume *Styrofoam*

$$\text{Diameter mould} = 10 \text{ cm} = 0.1 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi Mould} = 20 \text{ cm} = 0.2 \text{ m}$$

$$\text{Volume Mould} = 0.0016 \text{ m}^3$$

$$\text{Berat mould} = 6.425 \text{ kg}$$

$$\text{Berat mould} + \text{styrofoam} = 6.448 \text{ kg}$$

$$\text{Berat styrofoam} = 0.023 \text{ kg}$$

$$\text{Berat Volume} = \frac{\text{berat styrofoam}}{\text{volume styrofom}}$$

$$= \frac{0.023}{0.0016}$$

$$= 14.37 \text{ kg/m}^3$$